

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra hydrotechniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hydroenergetické využití zbytkového spádu MVE Vydra

Hydropower use of a residual head of „HPP Vydra“

Vedoucí práce: Dr. Ing. Petr Nowak

2017

Lucie Vodrážková



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Vodrážková

Jméno: Lucie

Osobní číslo: 423820

Zadávající katedra: Hydrotechnika

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Hydroenergetické využití zbytkového spádu "MVE Vydra"

Název bakalářské práce anglicky: Hydropower use of a residual head of "HPP Vydra"

Pokyny pro vypracování:

Výpočet hydroenergetického potenciálu lokality, zpracování hydrologických a provozních dat stávající elektrárny

Variantní a koncepční návrh technického řešení zejména s ohledem na výběr technologického zařízení

Rozpracování doporučené koncepce včetně základních stavebních objektů a hydraulického obvodu turbíny

Návrh základních parametrů soustrojí

Základní ekonomické zhodnocení vybrané varianty

Seznam doporučené literatury:

Holata - Využití vodní energie

Giesecke - Wasserkraftanlagen

Jméno vedoucího bakalářské práce: Dr. Ing. Petr Nowak

Datum zadání bakalářské práce: 22.2.2014

Termín odevzdání bakalářské práce: 26.5.2014

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

22.2.2014

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s metodickým pokynem ČVUT 1/2009 „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

V Praze, dne 27.5.2017

.....

jméno a příjmení

Poděkování

Ráda bych poděkovala Dr. Ing. Petru Nowakovi a Ing. Evě Škařupové za jejich čas a odborné rady v průběhu tvorby této bakalářské práce. Dále bych chtěla poděkovat Ing. Radku Veselému a Ing. Václavu Lagnerovi za možnost přístupu do zájmové lokality, za zajímavé informace týkající se tématu této práce a za poskytnutí potřebných dat.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou využití zbytkového spádu malé vodní elektrárny Vydra, nacházející se v obci Čeňkova Pila v CHKO Šumava.

Cílem práce je zvolit vhodné koncepční řešení a následně navrhnout parametry soustrojí pro využití tohoto zbytkového spádu. Při návrhu je nutné přihlédnout na požadavek neomezit provoz stávající elektrárny při realizaci a provozu zvoleného řešení. Vzhledem k možnostem lokality byl zvolen koncept snadno demontovatelného ponořeného soustrojí bez regulace oběžného a rozváděcího kola. V této práci je uvažována varianta s možností úpravy provozu stávající elektrárny a varianta dvou vyměnitelných turbín pro vodné a suché období v roce. Zvolené koncepční řešení je následně ekonomicky zhodnoceno.

Klíčová slova: malá vodní elektrárna, hydroenergetický potenciál, zbytkový spád, ponorné soustrojí bez regulace

Abstract

This bachelor thesis is focused on how to use a residual head on small hydropower plant Vydra, situated in Čeňkova Pila in protected landscape area of Šumava.

The goal of the thesis is to choose appropriate conceptual solution and to propose parameters of turbine unit for usage of this residual head. It's necessary to consider the requirement of keeping a flow of actual powerplant during the realization and a flow of the chosen concept in the proposal. Considering the options of the locality, a concept of easy demountable submerged turbine unit without a regulation of runner and guide vanes was chosen. A variant with a possibility of modified flow regime of current powerplant and a variant with two exchangeable runners for wet and dry period were considered in this thesis. The chosen conceptual solution was economically evaluated.

Keywords: small hydropower plant, hydroenergetic potential, residual head, submerged turbine unit

Obsah

1. Úvod.....	2
2. Popis stávající elektrárny	3
2.1. Historie a současnost.....	6
2.2. Umístění MVE Vydra 2	7
2.3. Analýza provozních dat.....	7
2.3.1. Data z fakturačních elektroměrů.....	8
2.3.2. Data z monitorovacího systému.....	13
2.4. Hydrologické údaje	21
2.5. Manipulační řád	23
3. Varianty technického řešení.....	25
4. Zvolené koncepční řešení	26
4.1. Popis.....	26
4.2. Prototyp zvoleného soustrojí.....	27
4.3. Vlastní řešení.....	29
5. Výpočet hydroenergetického potenciálu lokality	29
5.1. Horní voda.....	29
5.2. Dolní voda.....	32
5.3. Teoretická roční výroba	34
5.4. Varianty spádu	41
5.5. Varianta výměnného OK.....	44
5.6. Vodohospodářské řešení nádrže.....	44
6. Návrh parametrů soustrojí	47
7. Způsob provozu soustrojí.....	49
7.1. Varianta změny provozu stávající elektrárny	49
7.2. Varianta dvou oběžných kol	50
8. Ekonomické zhodnocení	50
9. Závěr	52
10. Použitá literatura	53
11. Seznam obrázků.....	54
12. Seznam tabulek.....	55
13. Seznam podkladů.....	56
14. Seznam příloh	57

1. Úvod

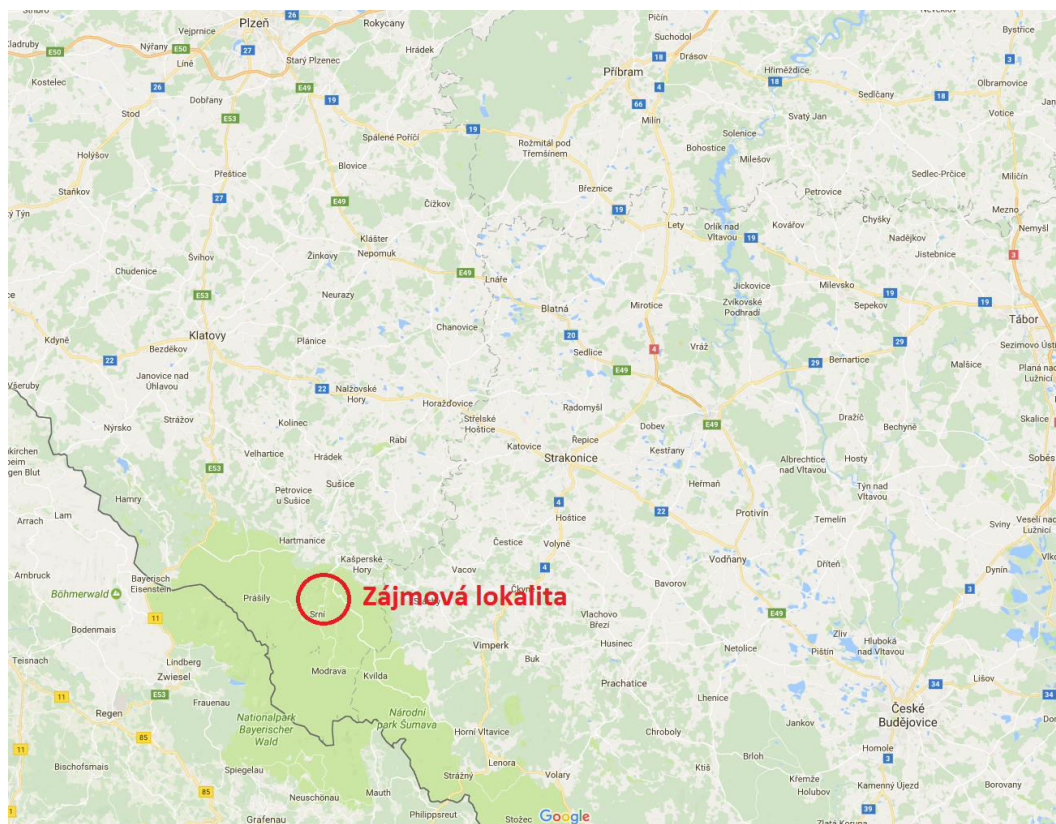
V obci Čeňkova Pila v CHKO Šumava se nachází špičková malá vodní elektrárna Vydra, jež je majetkem Skupiny ČEZ. Na odtoku z této elektrárny je nevyužitý zbytkový spád, na němž má být navrženo další soustrojí, tedy MVE Vydra 2. Vedle odtoku ze stávající elektrárny je umístěna podzemní jímka s krátkým tlakovým přivaděčem, jež má být využita pro umístění nového soustrojí, díky němuž bude možné využít i tento zbytkový spád.

Nové soustrojí MVE Vydra 2 má být ekonomicky i provozně nenáročné, nesmí omezovat provoz stávající MVE Vydra a nesmí být náročné na stavební úpravy. Nejlepší variantou tohoto řešení by tedy mělo být jednoduché soustrojí bez regulace, využívající jeden návrhový průtok. Soustrojí musí být demontovatelné kvůli případným opravám, popřípadě vyměnitelné za soustrojí s jiným návrhovým průtokem, díky čemuž by bylo možné jeho provozování i při nižších hodnotách průtoku.

Pro návrh soustrojí je nejprve nutné analyzovat dostupná data ze stávající MVE Vydra, aby bylo možné nastínit způsob jejího provozu a následně zvolit co nejvhodnější koncept pro využití zbytkového spádu. Po zvolení koncepčního řešení následuje výpočet hydroenergetického potenciálu dané lokality a s tím související zvolení návrhového průtoku pro výpočet parametrů soustrojí.

2. Popis stávající elektrárny

Stávající MVE Vydra se nachází v obci Čenčkova Pila na levém břehu řeky Vydry.



Obrázek 1 Mapa s vyznačením zájmové oblasti

Jedná se o derivační elektrárnu, která využívá akumulční nádrž o využitelném objemu 63.760 m^3 , nacházející se pod Sedelským vrchem. Nádrž je napájena Vchynicko-Tetovským kanálem. Přímou do elektrárny přivádí vodu tlakové potrubí DN 1000 délky 904 m, jež překonává výškový rozdíl 227,67 m.



Obrázek 2 Katastrální mapa MVE Vydra

Strojovna elektrárny je osazena dvěma soustrojími s turbínami typu Francis, uloženými v horizontální poloze s osou na kótě 642,08 m n. m.

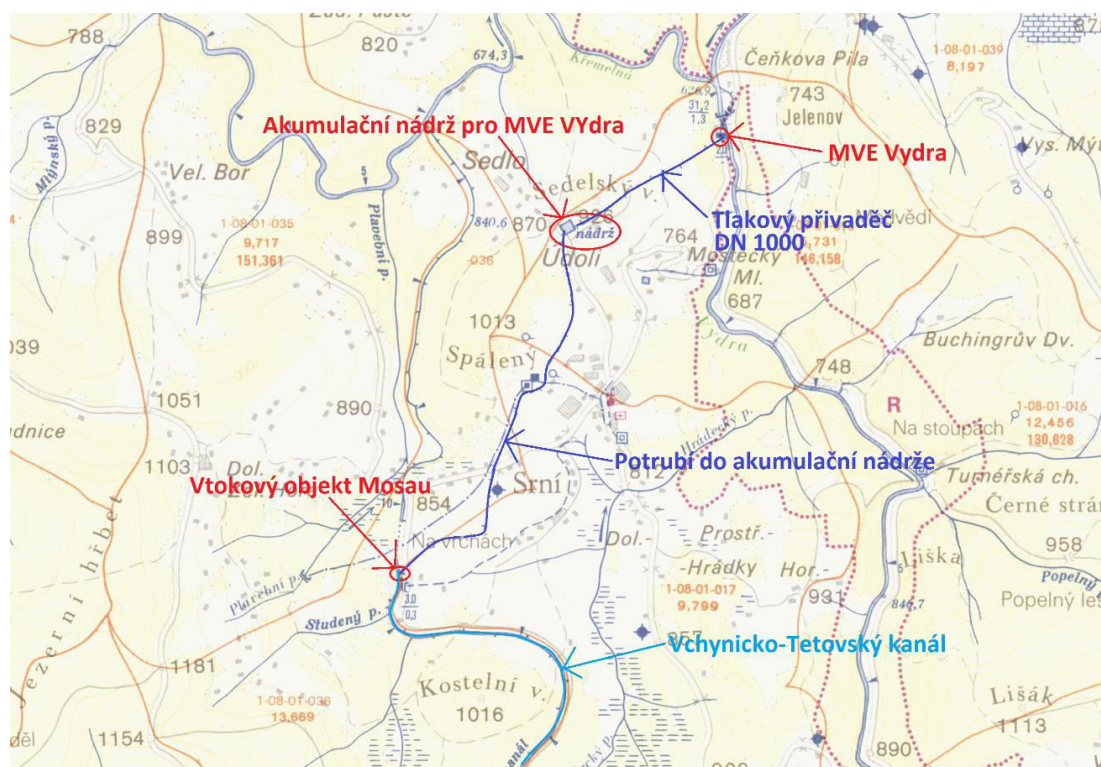
Parametry turbín:

Maximální hltnost	$Q_T = 2 \times 1,85 = 3,70 \text{ m}^3/\text{s}$
Hltnost pro maximální součtový výkon obou soustrojí	$3,39 \text{ m}^3/\text{s}$
Hrubý spád při vztyčené klapce	$H_B = 235,27 \text{ až } 239,6 \text{ m}$
Ztráty v přivaděči	$H_Z = 26,5 \text{ m}$
Instalovaný výkon	$P_i = 2 \times 3200 \text{ kW}$
Maximální společný výkon obou turbín	$P_{TMAX} = 6242 \text{ kW}$
Měrná spotřeba vody na 1 kWh	$2,09 \text{ m}^3$

Synchronní generátory (6000 kVA, $\cos \phi = 0,535$, 6000 V, 525 A) byly dodány firmou Škoda a ČDK Praha. Obě turbíny mají společný regulátor dodaný firmou ČKD Blansko.

Před turbínami jsou umístěny kulové uzavěry o průměru 2 x DN 550. Jemná regulace průtoku je prováděna natáčením lopatek rozváděcího kola.

Voda od obou turbín odpadá do společného vývaru, nacházejícího se přímo za elektrárnou. Vývar je obdélníkového tvaru, široký 5,35 m a dlouhý 14,25 m. Je ukončen prahem s pohyblivou ocelovou klapkou s kótou při maximálním vztyčení 640,58 m n. m. Dno vývaru se nachází na kótě 636,68 m n. m. Na práh navazuje odpadní koryto se zaústěním do řečiště Vydry. (1)



Obrázek 3 Vodohospodářská mapa s vyznačením objektů souvisejících s MVE Vydra

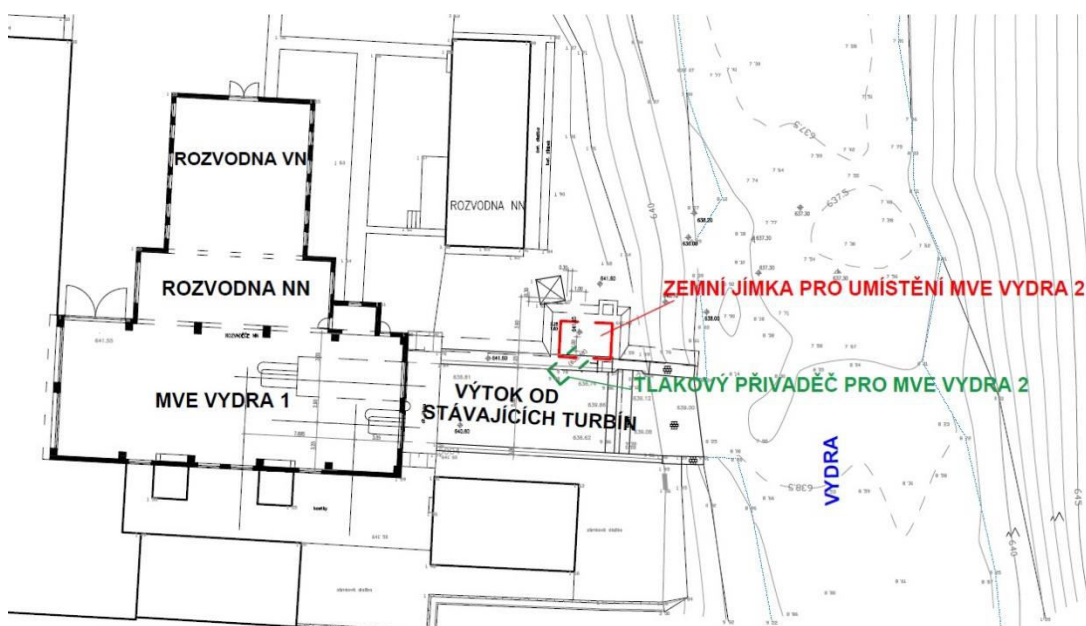
2.1. Historie a současnost

Stavba MVE Vydra byla zahájena roku 1937. V roce 1939 byla elektrárna uvedena do provozu, prozatím jako průtočná, neboť zatím nebyla vystavěna akumulční nádrž. Ta byla dostavěna v lednu 1942, a tak mohla být MVE Vydra uvedena do úplného provozu. V letech 2005 a 2006 proběhla modernizace obou turbín, byly instalovány nové čerpací agregáty pro regulaci obou soustrojí, generátory obou TG byly převinuty a byl nainstalován nový řídicí systém celé elektrárny. V lednu 2007 došlo ke změně provozu elektrárny z průtočného na provoz špičkový. V současnosti dodává elektrárna energii do sítě v těchto špičkách a mimo ně v případě, že průtok Vchynicko-Tetovským kanálem umožní vyšší výrobu. (2)

Historie Vchynicko-Tetovského kanálu sahá až do roku 1799, kdy byla započata jeho stavba na panství Swarzenbergů stavitelem Ing. J. Rosenauerem. Plavební kanál spojoval Vydru od jezu Rechle s řekou Křemelnou, čímž bylo možno obejít nespлавný úsek Vydry. Celý systém, zahrnující 7 vodních nádrží umožňoval dopravu dřeva z vysokých šumavských lokalit do Otavy a dále do celého vnitrozemí. Teprve od roku 1939, kdy byla vystavěna MVE Vydra slouží kanál k přivádění vody do akumulční nádrže napájející tuto elektrárnu. Dodnes bylo zachováno jen několik mostků s kamennou klenbou a celé dílo je chráněno jako technická památka. (3)

2.2. Umístění MVE Vydra 2

MVE Vydra 2 má být umístěna na pozemku MVE Vydra v blízkosti odpadního kanálu od stávající elektrárny. Vedle tohoto kanálu je umístěna zemní jímka obdélníkového půdorysu, do níž je zaveden krátký tlakový přivaděč vycházející z levé stěny odpadního kanálu. Nové soustrojí pro využití zbytkového spádu má být umístěno v této jímce (viz. Obrázek 4).



Obrázek 4 Schema umístění MVE Vydra 2

Tlakový přivaděč je umístěn pod úhlem 43° k levé stěně odpadního kanálu. Maximální přesah potrubí do prostoru odpadu od MVE Vydra je 1 m. Osa potrubí se nachází na kótě 639,15 m n. m. a průměr potrubí činí 1,34 m. Jímka má vnitřní rozměry 3,6 x 2,5 m a její delší stěna je umístěna rovnoběžně s odpadním kanálem MVE Vydra ve vzdálenosti 0,9 m. Dno jímky se nachází na kótě 638,15 m n. m.

2.3. Analýza provozních dat

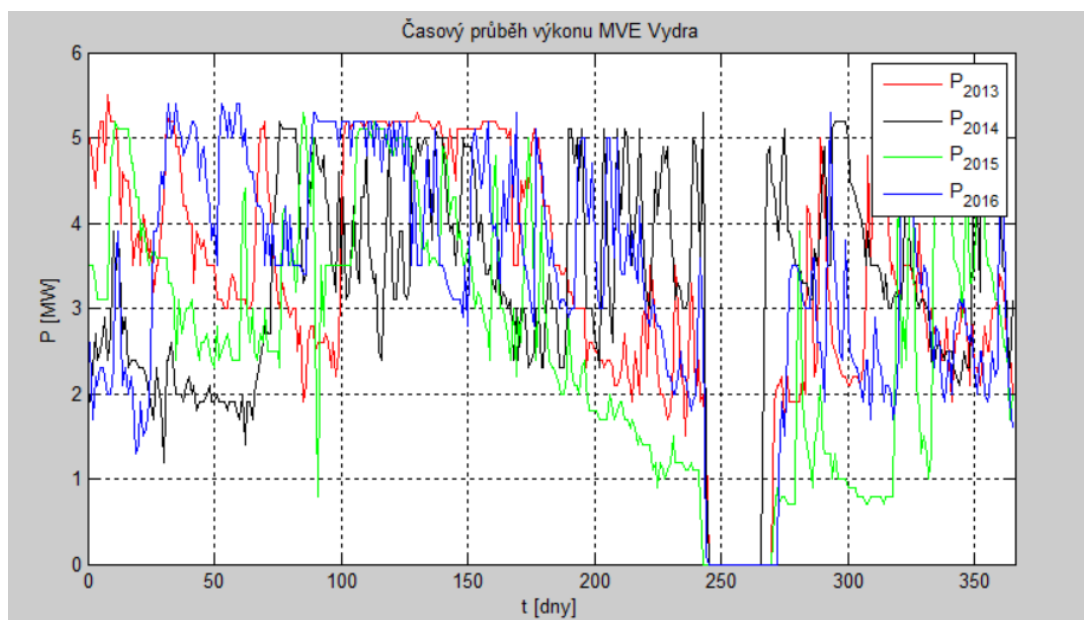
Za účelem pochopení provozu stávající elektrárny a pro možnost výpočtu hydroenergetického potenciálu MVE Vydra 2 byla provedena analýza dat. K dispozici byla data ze dvou základních zdrojů. Prvním byla data z fakturačních elektroměrů a druhým detailní provozní data z monitorovacího systému za poslední rok provozu MVE Vydra.

Analýza byla provedena v softwaru pro vědeckotechnické výpočty MATLAB, společnosti MathWorks.

2.3.1. Data z fakturačních elektroměrů

Pro vypracování analýzy současného stavu byl poskytnut soubor dat z elektroměrů, obsahující údaje o průměrném hodinovém výkonu stávající MVE Vydra za roky 2013, 2014, 2015 a 2016. Doplněna, respektive vymazána byla data při přechodech z letního na zimní čas a obráceně. U přechodného roku byl vymazán poslední únorový den. Touto úpravou vznikly časové řady výkonů se shodnou délkou odpovídající 365 dnům.

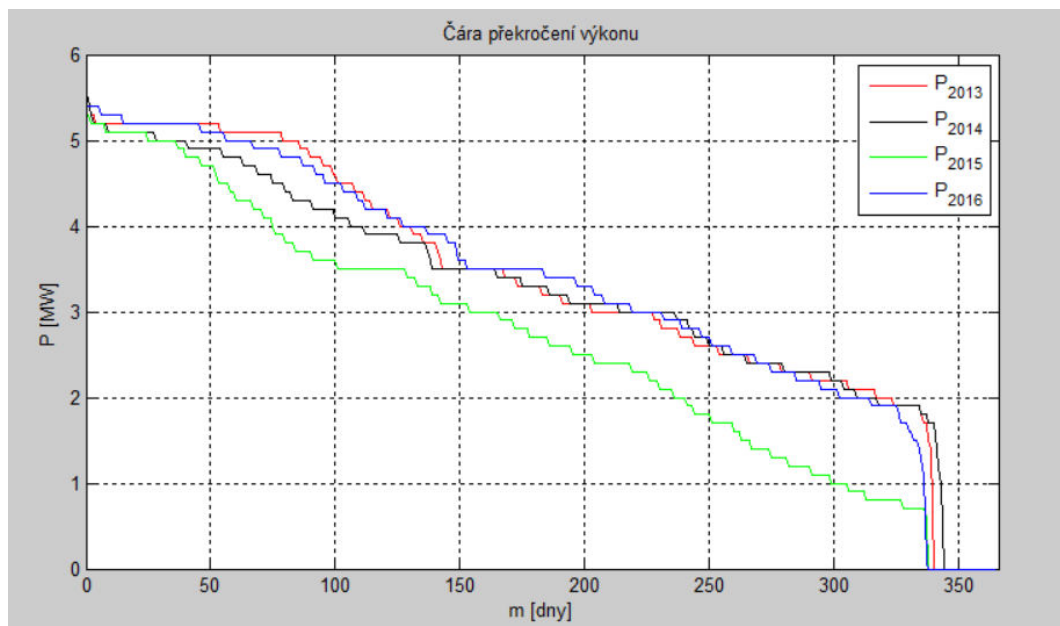
Z poskytnutých dat byl po jejich úpravě sestaven graf časového průběhu výkonu MVE Vydra pro každý rok (Obrázek 5).



Obrázek 5 Časový průběh výkonu MVE Vydra za roky 2013 až 2016

Na grafu výše (Obrázek 5) můžeme pozorovat podobný průběh výkonu v čase pro všechny roky, přičemž nejvyšších průtoků dosahuje MVE Vydra v období mezi 100. a 150. dnem v roce, tedy od března do května každého roku.

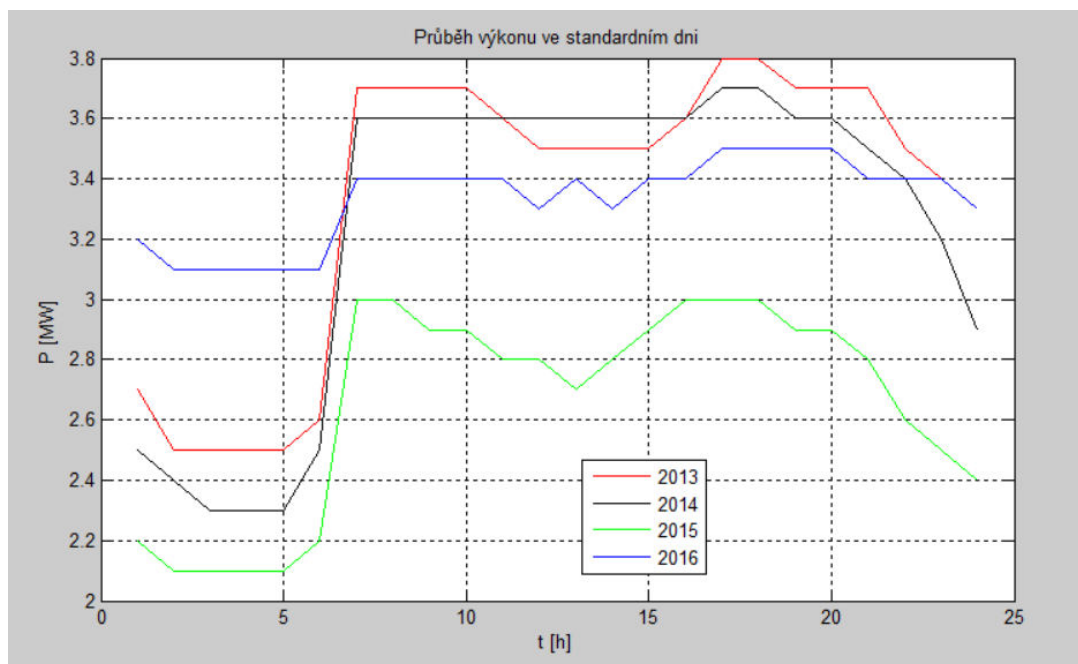
Pro podrobnější analýzu dat z elektroměrů byla sestavena čára překročení výkonu, opět pro každý rok měřeného období (Obrázek 6).



Obrázek 6 Čára překročení výkonu za roky 2013 až 2016

Obrázek 6, zobrazující čáru překročení výkonu, udává počet dnů, po které je výkon na MVE Vydra vyšší nebo roven dané hodnotě na ose y v grafu. Na tomto obrázku můžeme současně pozorovat skutečnost, že v roce 2015 (zeleně) byl výkon po celý rok nižší než v ostatních letech. Je tedy zřejmé, že se jednalo o suchý rok.

Pro znázornění pravidelnosti průběhu provozu v každém dni byl sestaven graf, jež znázorňuje jeden standardní den pro každý rok, pro něž byla data z elektroměrů poskytnuta (Obrázek 7).

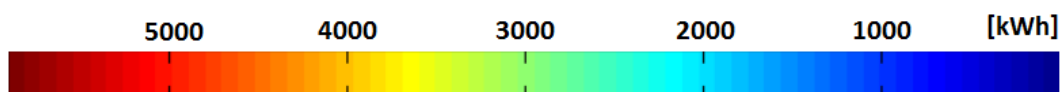


Obrázek 7 Průběh výkonu ve standardním dni každého roku

Z grafu standardního dne (Obrázek 7) je zřejmé, že každý den je elektrárna uvedena do provozu v sedm hodin. Liší se pouze průběh výkonu a doba odstavení elektrárny, které se mění v závislosti na velikosti průtoku protékajícího elektrárnou.

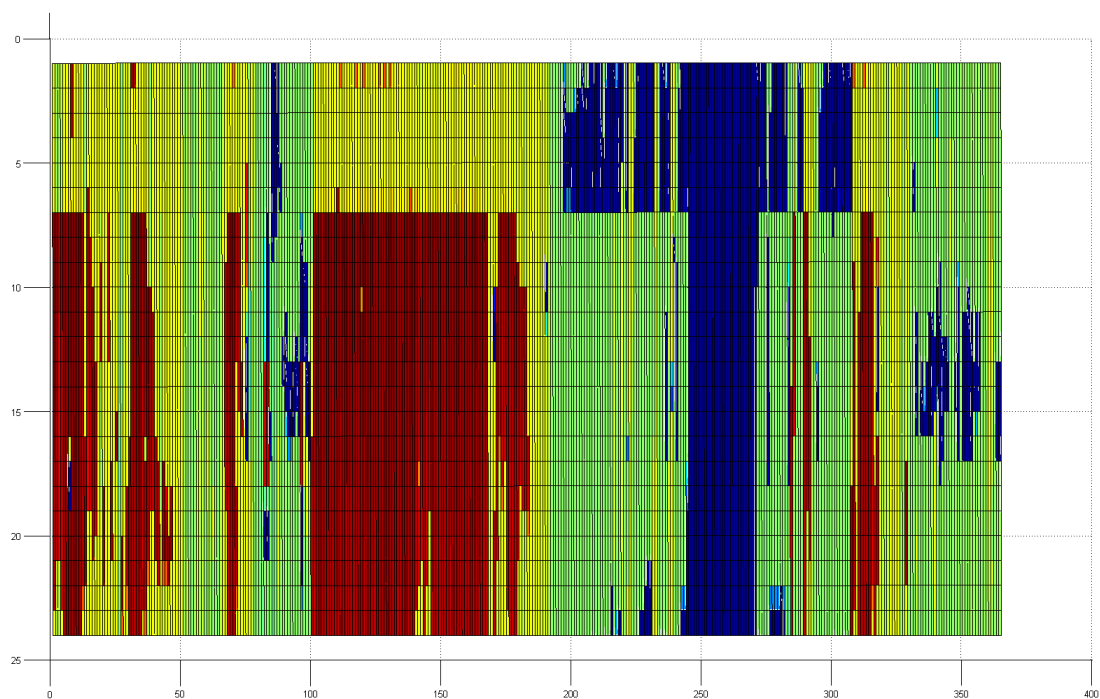
Tato skutečnost je taktéž zřejmá z následujících grafů, ve kterých je znázorněn průběh výkonu MVE Vydra v čase tak, že na vodorovné ose jsou dny v roce (zleva doprava) a na ose svislé jsou hodiny (svrchu dolů).

Legenda ke grafům níže (Obrázek 9, Obrázek 10, Obrázek 11 a Obrázek 12):



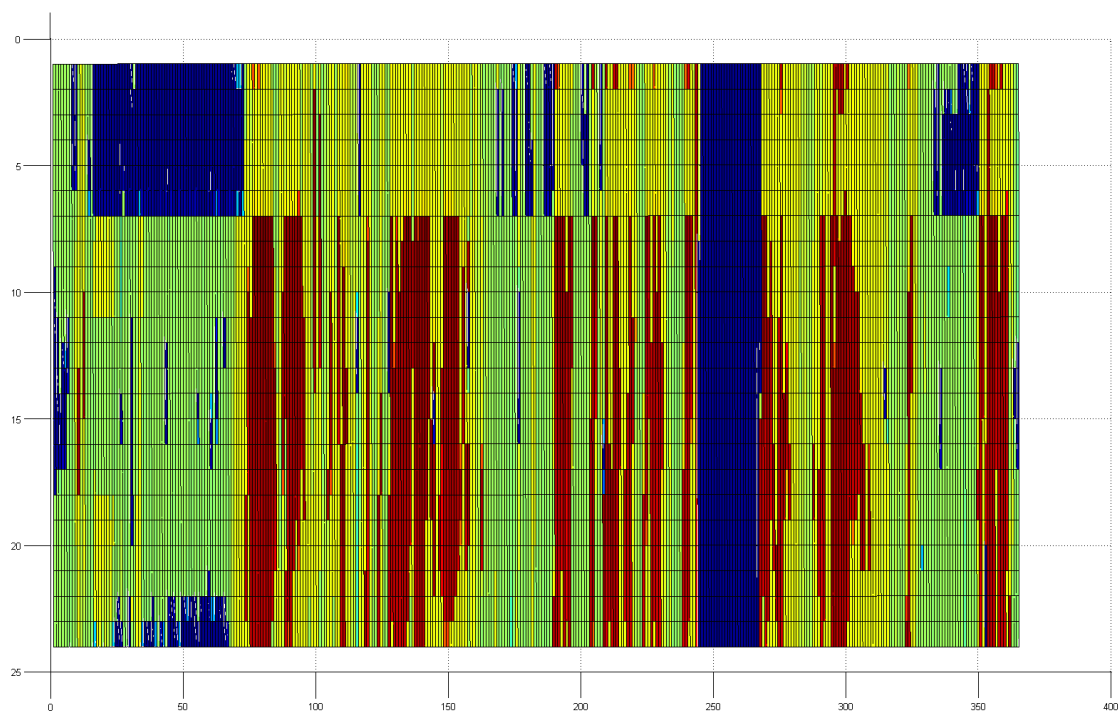
Obrázek 8 Legenda ke grafům průběhu výkonu MVE Vydra v čase za roky 2013, 2014, 2015 a 2016

Průběh výkonu pro rok 2013 (Obrázek 9):



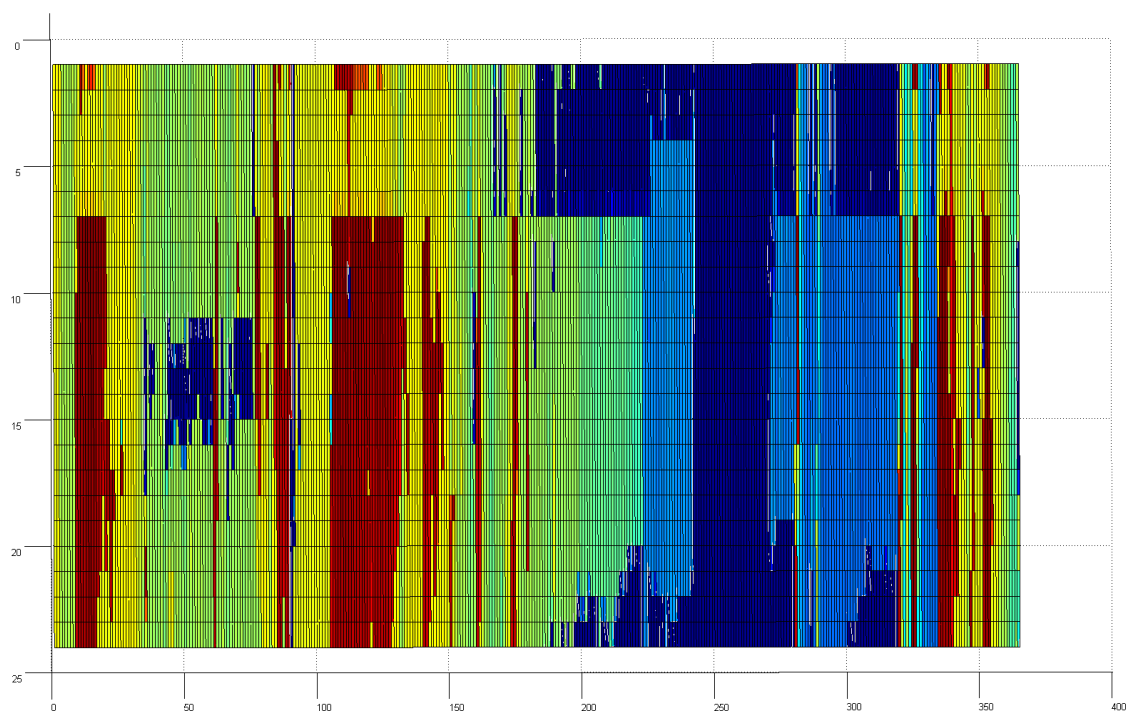
Obrázek 9 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2013

Průběh výkonu pro rok 2014 (Obrázek 10):



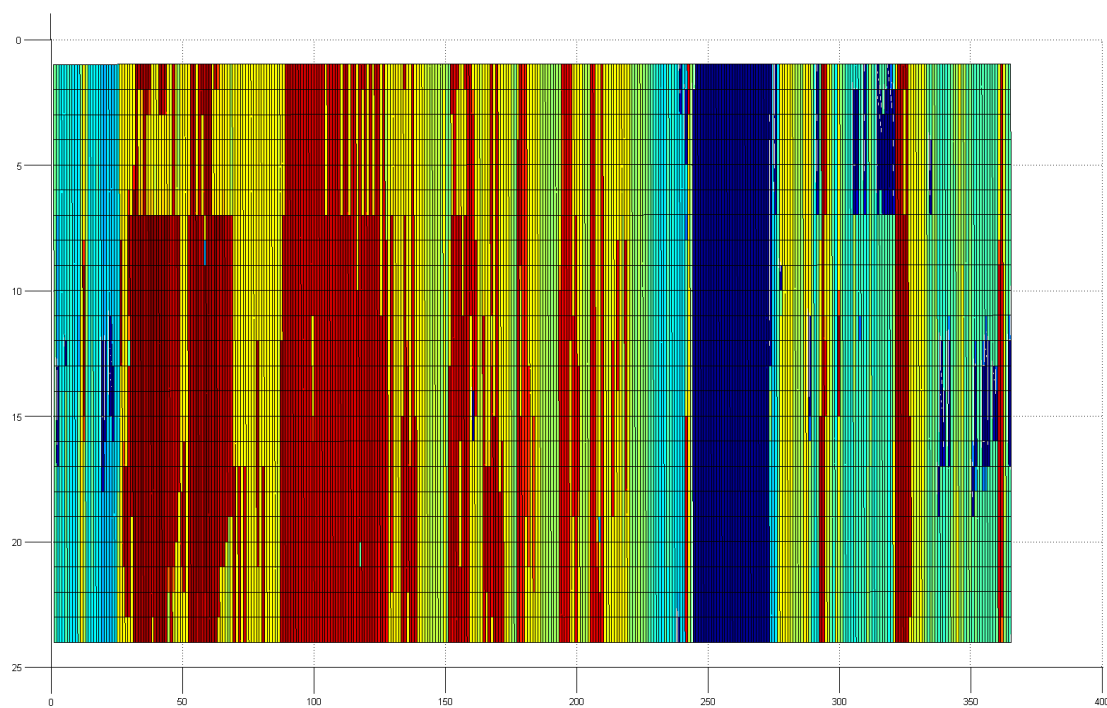
Obrázek 10 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2014

Průběh výkonu pro rok 2015 (Obrázek 11):



Obrázek 11 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2015

Průběh výkonu pro rok 2016 (Obrázek 12):



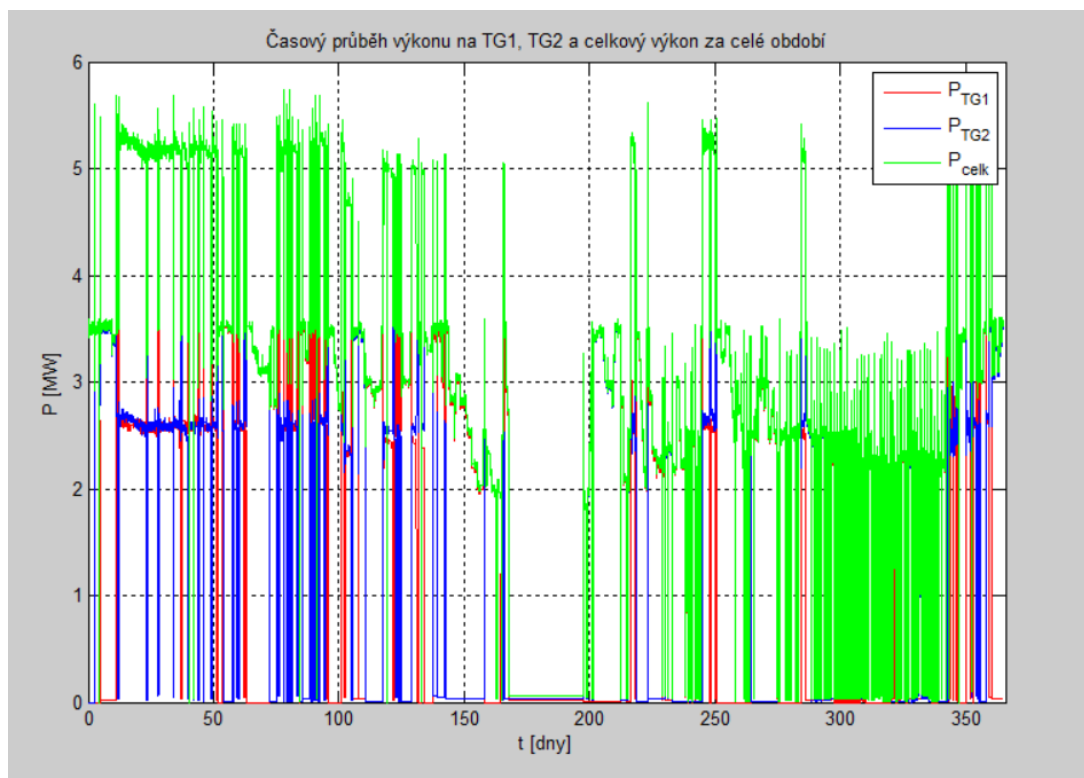
Obrázek 12 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2016

Na obrázcích výše (Obrázek 9, Obrázek 10, Obrázek 11 a Obrázek 12) můžeme pozorovat barevně vykreslený průběh výkonu v každé hodině každého dne v letech 2013, 2014, 2015 a 2016. Červeně jsou vykresleny vyšší hodnoty výkonu a modře naopak hodnoty nižší (tmavě modrá hodnota je rovna nule). V každém z uvedených let je z grafů zřejmá zářijová odstávka elektrárny (tmavě modrý blok v pravé polovině každého z grafů), která trvá 30 dnů. Dále můžeme pozorovat již dříve zmíněnou dobu uvedení soustrojí do provozu, která nastává každý den v sedm hodin. Doba každodenního provozu se liší v závislosti na průtoku, jež je na elektrárnu přiváděn. Protahuje se tedy doba odstavení soustrojí.

2.3.2. Data z monitorovacího systému

Vstupními daty pro tuto analýzu byly údaje o výkonu a otevření rozváděcích kol obou Francisových turbín MVE Vydra za časové období jednoho roku (17. 3. 2016, 0:00 až 17.3.2017, 13:46). Tato data byla zapisována po minutových intervalech po celé období. Data z tohoto období byla pro podrobnější analýzu vybrána z důvodu vyšší četnosti zápisů jednotlivých údajů, a tak i vyšší přesnosti, než u dat z fakturačních elektroměrů. Z předchozí analýzy dat z fakturačních elektroměrů je zřejmé, že rok 2016 je z hlediska víceletého průzkumu přibližně statisticky průměrně vodným rokem a je tedy pro další analýzu vhodným časovým obdobím.

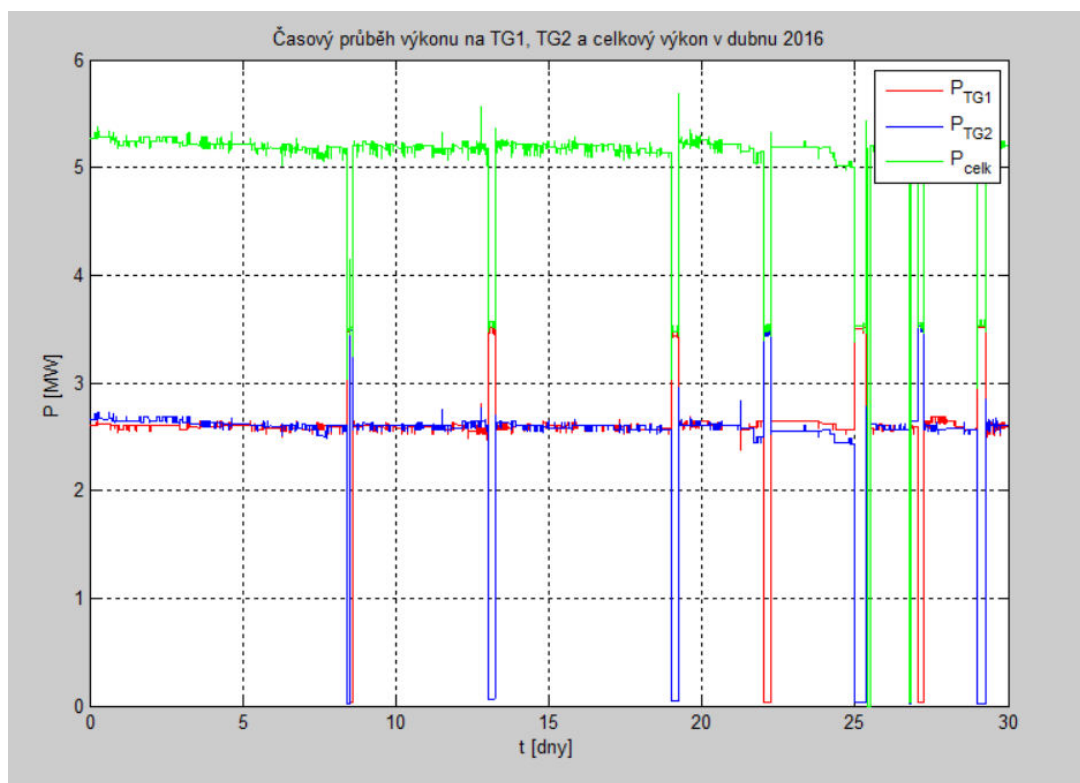
Z dat byl sestaven graf zobrazující časový průběh výkonu obou Francisových turbín a součtový výkon za celé období (Obrázek 13).



Obrázek 13 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon za celé období

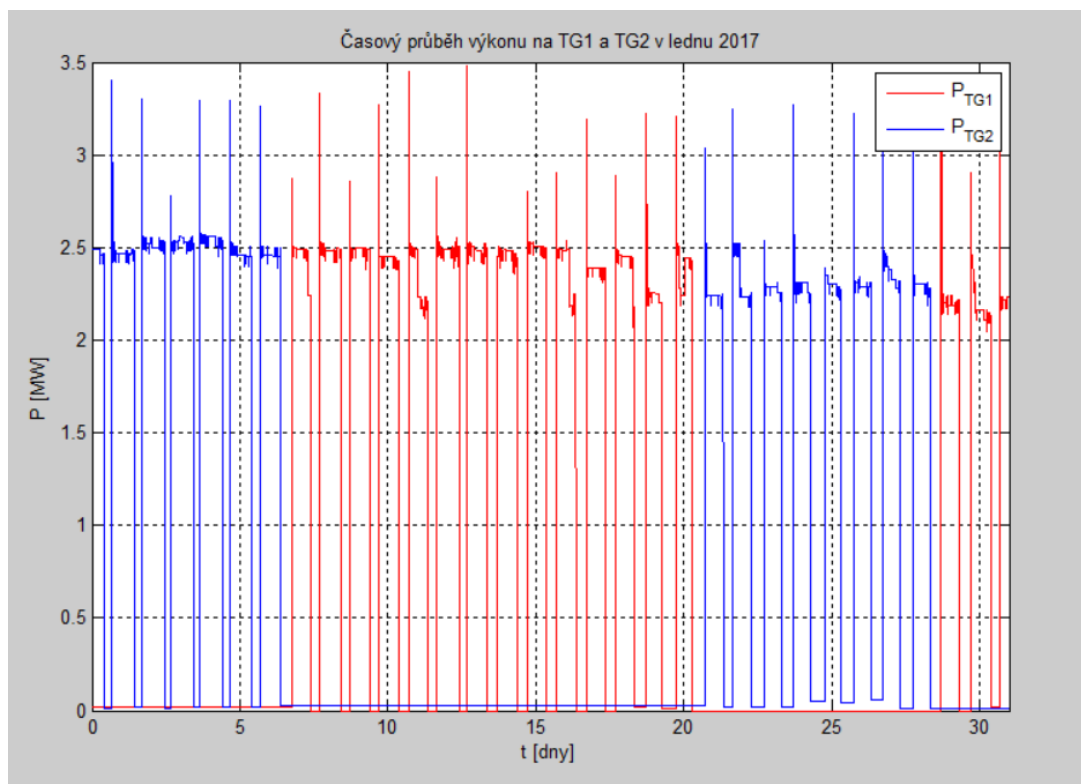
Na grafu výše (Obrázek 13) můžeme pozorovat skutečnost, že obě turbíny jsou současně v provozu pouze ve vodných měsících, tj. od února do července. V srpnu je již v provozu pouze jedna turbína a v září dochází k pravidelné odstávce z provozu. Dále můžeme na grafu pozorovat špičku pokaždé, když jedna turbína nabíhá do provozu. Ta je způsobena zvýšením průtoku na takovou hodnotu, aby byl odstraněn vzduch ze soustrojí, který se sem dostal při odstávce dané turbíny. Po vytlačení vzduchu se průtok sníží na optimální úroveň, při níž je nejvyšší hodnota účinnosti. Zanedbáme-li tyto špičky, můžeme vidět fakt, že u žádné z turbín příliš často neklesá výkon pod 2 MW a naopak není vyšší než 3 MW, což odpovídá rozsahu Francisovy turbíny.

Dále byly zpracovány grafy průběhu výkonu obou turbín a výkonu celkového pro vodný a naopak pro suchý měsíc, tj. pro duben 2016 (Obrázek 14) a srpen 2016 (Obrázek 15).



Obrázek 14 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon v dubnu 2016

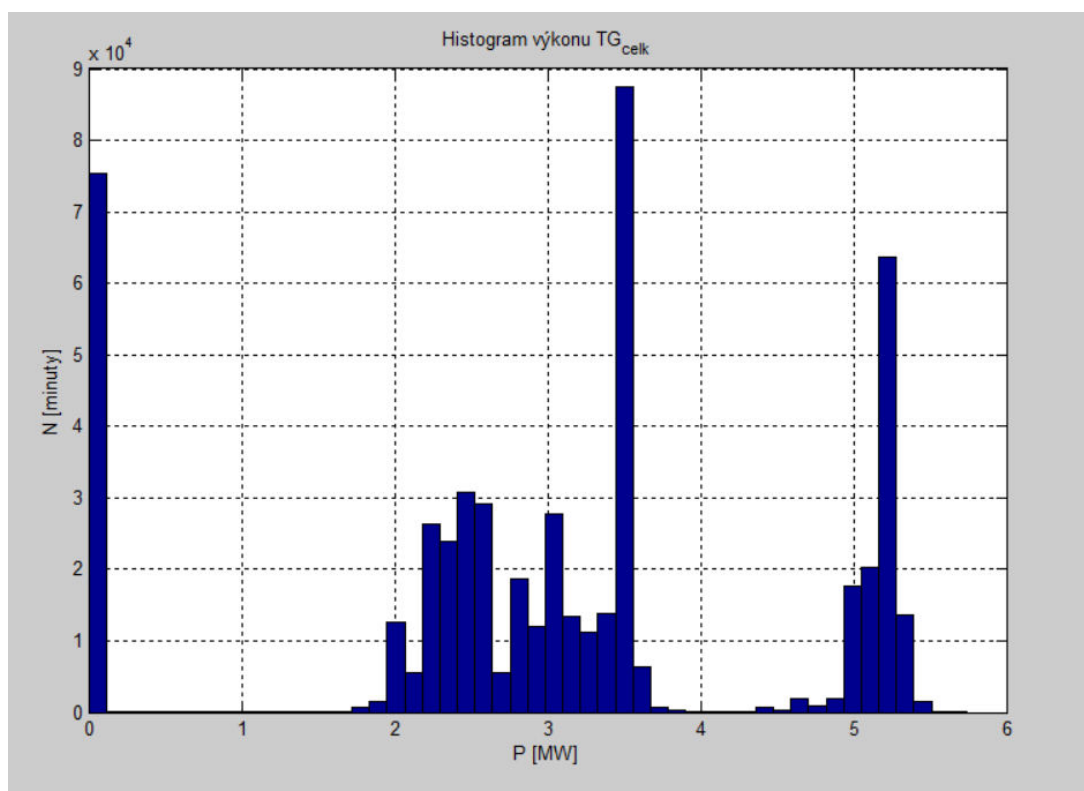
V dubnovém provozu (Obrázek 14) jsou vzhledem k vyššímu průtoku většinu času obě turbíny v souběhu. K celkové odstávce elektrárny v tomto období nedochází, odstavují se pouze jednotlivá soustrojí, a to jen na krátké časové úseky. Hodnota celkového výkonu je součtem výkonů obou soustrojí.



Obrázek 15 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon v lednu 2017

V lednu (Obrázek 15) je v jednu chvíli v provozu pouze jedno soustrojí. Nedochází k souběhu, a tudíž je celkový výkon roven výkonu soustrojí, jež je právě v provozu. Obě turbíny jsou provozovány s častými odstávkami z důvodu nedostatečného průtoku korytem Vydry, z něžž je voda na elektrárnu přiváděna.

Z dat byl dále vytvořen histogram celkového výkonu MVE Vydra (Obrázek 16).

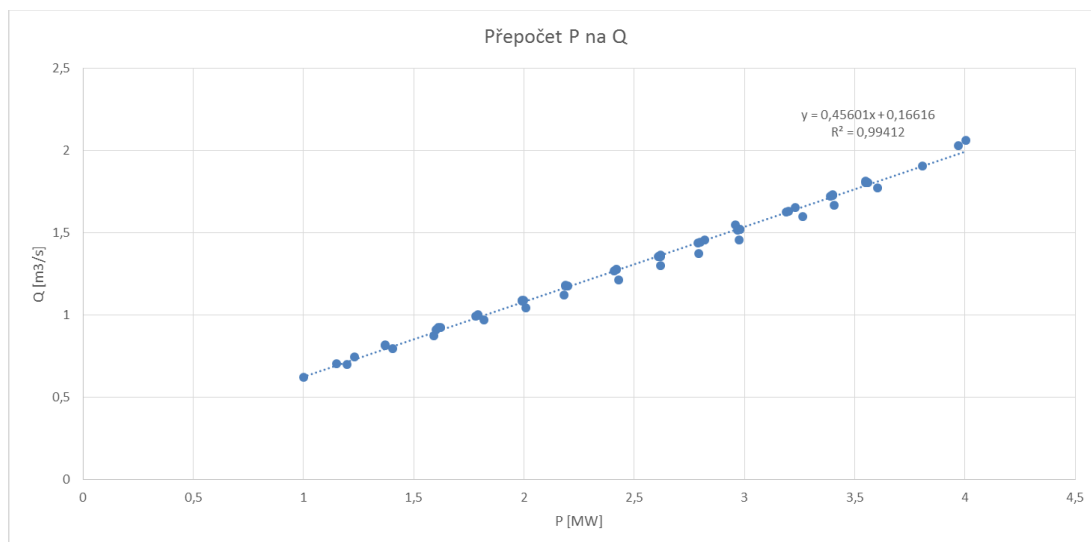


Obrázek 16 Histogram výkonu TG_{celk}

Z histogramu (Obrázek 16) můžeme pozorovat, jak časté jsou které hodnoty výkonu za dané časové období. Nejčastěji měla elektrárna celkový výkon přibližně 3,5 MW, což odpovídá stavu, kdy je jedno soustrojí v provozu a druhé je odstavené. Druhou nejčastější hodnotou výkonu je 5,2 MW, kdy byla v souběhu obě soustrojí. Častý výskyt nulové hodnoty výkonu je způsoben zářijovou odstávkou z provozu.

Dalším podkladem pro analýzu byla technická zpráva z garančního měření po výměně oběžného kola TG2 MVE Vydra.

Z této zprávy bylo možno odečíst průtoky pro dané hodnoty výkonu TG2, z nichž byl v programu MS Excel vytvořen graf (Obrázek 17). Pro tento graf byla sestavena rovnice, díky níž je možné přepočíst hodnoty výkonu na průtok (Rovnice 1).



Obrázek 17 Graf závislosti výkonu na průtoku

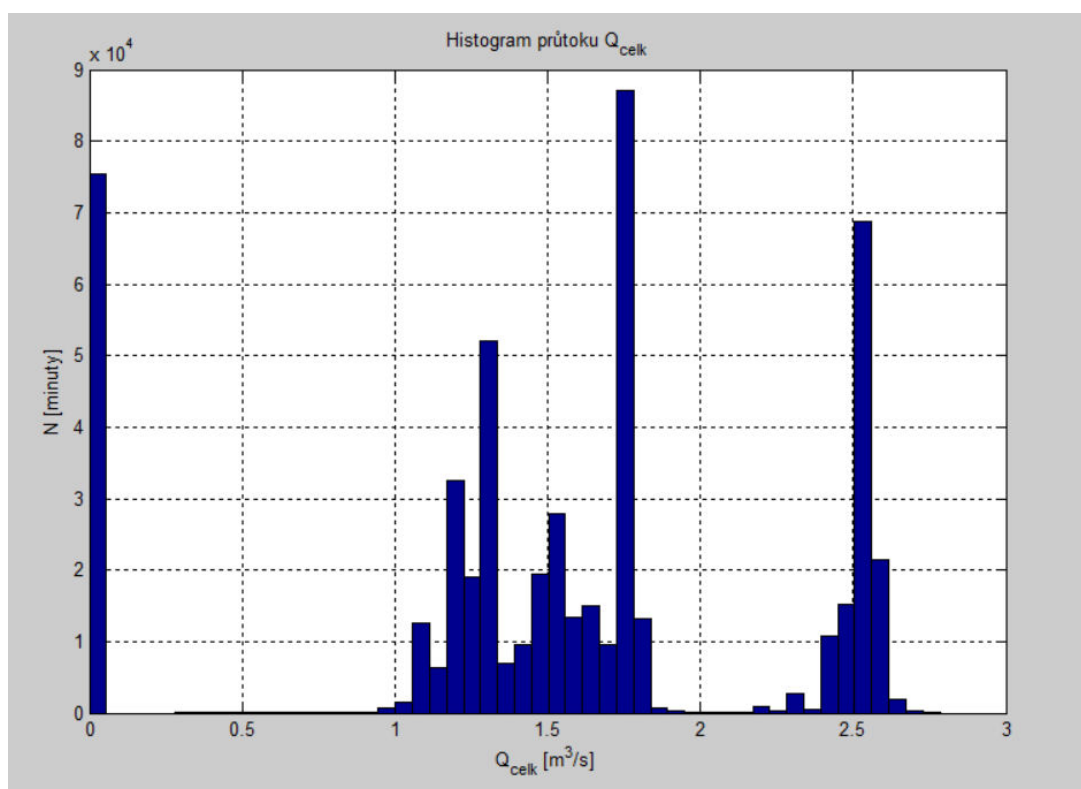
Rovnice pro přepočet hodnoty výkonu na průtok:

$$Q = 0,45601 \cdot P + 0,16616$$

Rovnice 1

Každá hodnota výkonu z celého souboru dat byla pomocí Rovnice 1 přepočtena na hodnotu průtoku v m³/s. Tím vzniknul nový datový soubor obsahující průtoky v každé minutě celého jednoho roku, díky čemuž bylo možné stanovit průtokové poměry na elektrárně.

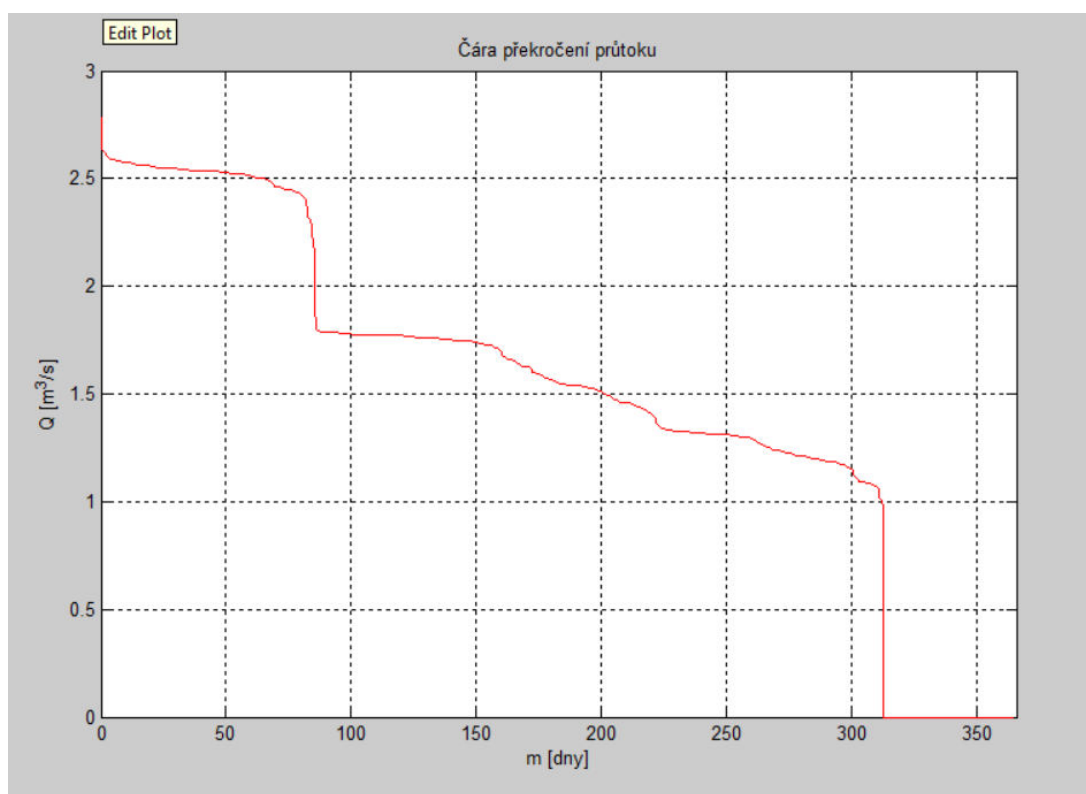
Na základě těchto dat byl sestaven histogram průtoku (Obrázek 18).



Obrázek 18 Histogram průtoku Q_{celk}

Z histogramu průtoku (Obrázek 18) vyplývá, že nejčastěji je z akumulční nádrže do elektrárny vypouštěn průtok $1,75 m^3/s$ při provozu jednoho soustrojí, což odpovídá přibližně provoznímu optimu stroje. Při vyšším průtoku korytem Vydry je možné odebírat průtok větší a tak mohou být v provozu obě soustrojí. V takovém případě elektrárnou prochází průtok o hodnotě $2,5 m^3/s$.

Dále byla ze souboru dat sestavena čára překročení průtoků (Obrázek 19).



Obrázek 19 Čára překročení průtoků

Budeme-li sledovat čáru překročení průtoků (Obrázek 19) od nejnižších hodnot průtoků (tedy zprava), můžeme pozorovat strmý nárůst hodnoty průtoků v místě kde je hodnota osy y přibližně 320 dnů. Tato doba odpovídá jednomu roku po odečtení každoroční zářijové odstávky trvající 30 dnů. Nárůst je způsoben uvedením jedné turbíny do provozu. Druhý strmý nárůst (80 dnů) je způsobem připojením také druhého soustrojí do provozu. Je tedy zřejmé, že při průtocích mezi 1 m^3/s a 2,7 m^3/s je v provozu pouze jedno soustrojí. Při průtocích vyšších než 2,7 m^3/s jsou v provozu obě dvě soustrojí MVE Vydra.

2.4. Hydrologické údaje

Lokalita se nachází na toku Vydra v blízkosti obce s rozšířenou působností Sušice. Jedná se o povodí III. řádu s označením 1-08-01-Otava po Volyňku. Nejbližší měrný profil je profil Modrava, z nějž je na stránkách Českého hydrometeorologického ústavu (dále ČHMÚ) k dispozici řada N-letých průtoků a průtok Q_{355} (Tabulka 1).

nízké průtoky						
<div><div></div> Q_{355}:</div>					0,744 [m ³ .s ⁻¹]	
N-leté průtoky [m ³ .s ⁻¹]						
Q1	Q2	Q5	Q10	Q20	Q50	Q100
29,00	38,00	52,00	65,00	79,00	101,0	120,0

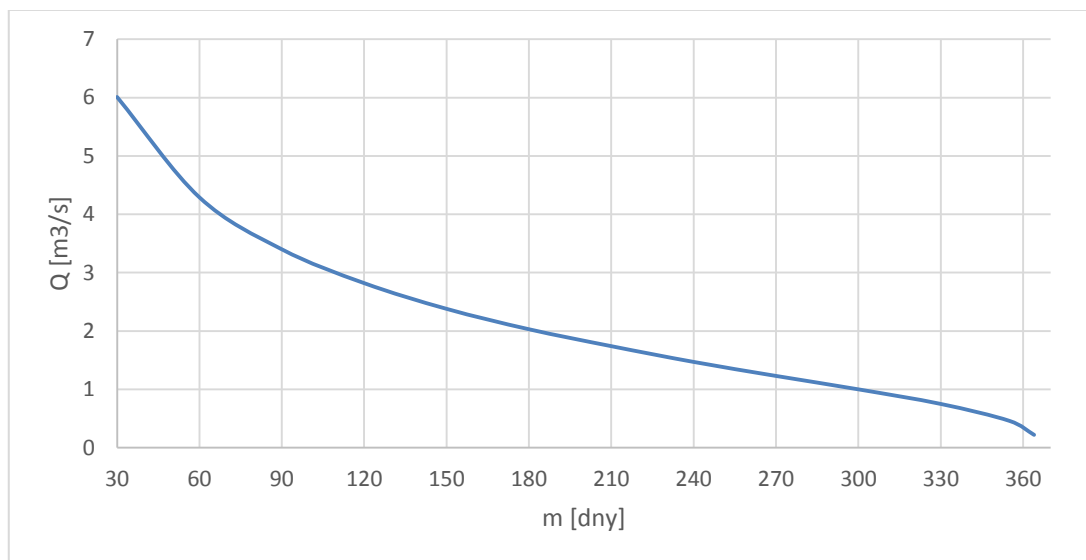
Tabulka 1 N-leté průtoky a Q_{355} od ČHMÚ [m³/s] (4)

Řada N-letých a m-denních průtoků byla taktéž převzata ze souhrnné technické zprávy MVE Vydra 2 od společnosti Pöyry.

m-denní průtoky		N-leté průtoky	
m	Q [m ³ /s]	N	Q [m ³ /s]
30	6,31	1	33
60	4,59	2	48
90	3,7	5	70
120	3,12	10	89
150	2,68	20	109
180	2,33	50	139
210	2,04	100	163
240	1,77		
270	1,53		
300	1,3		
330	1,05		
355	0,76		
364	0,52		

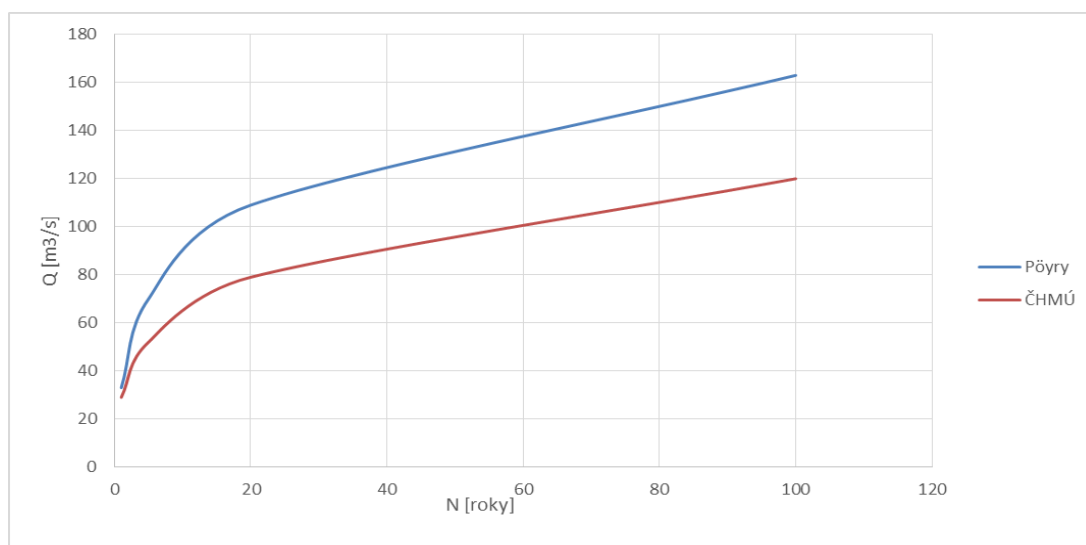
Tabulka 2 Řada m-denních a N-letých průtoků pro profil Modrava od společnosti Pöyry environment a.s. (5)

Z těchto dat byl sestaven graf čáry překročení průměrných denních průtoků (Obrázek 20):



Obrázek 20 Čára překročení průměrných denních průtoků

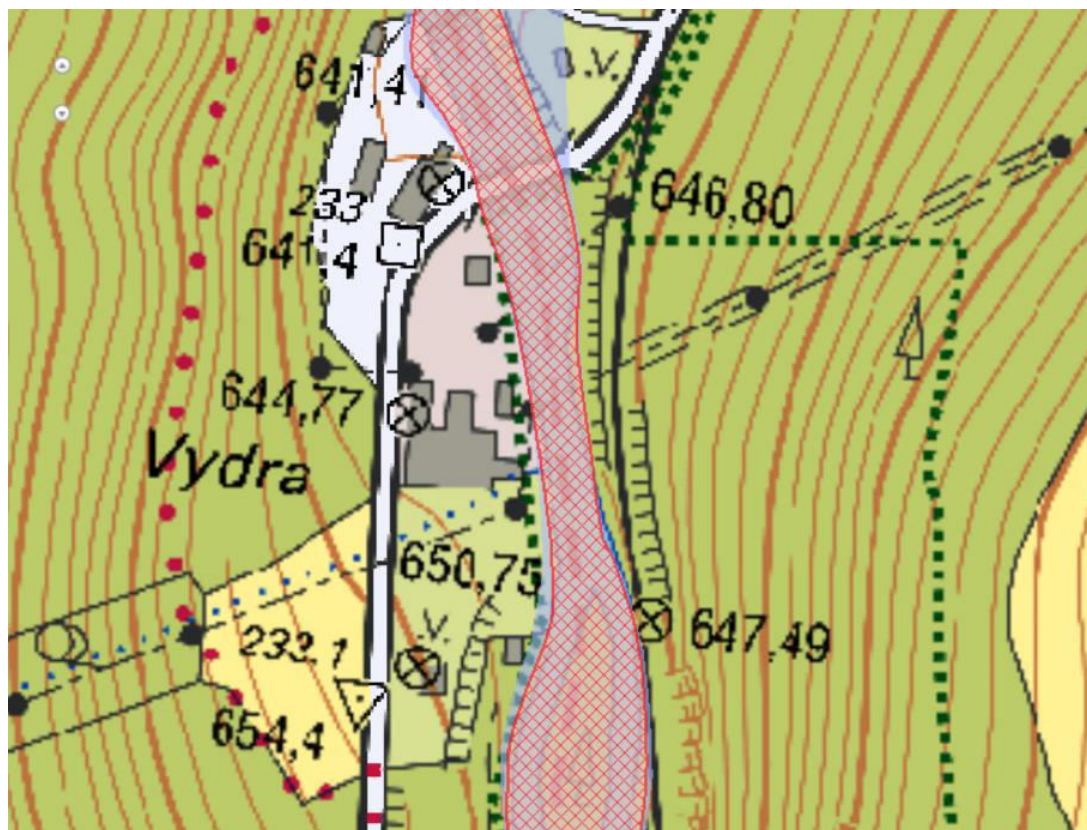
Hodnoty N-letých průtoků, převzatých od ČHMÚ (Tabulka 1) a od společnosti Pöyry Environment a.s. (Tabulka 2) se liší. Byla proto pro obě varianty sestavena čára opakování N-letých průtoků (Obrázek 21).



Obrázek 21 Čára opakování N-letých průtoků - porovnání dat ČHMÚ a Pöyry Environment a.s.

Z grafu (Obrázek 21) je zřejmé, že hodnoty N-letých průtoků převzatých od společnosti Pöyry Environment a.s. jsou vyšší než hodnoty převzaté od ČHMÚ. Pro návrh soustrojí MVE Vydra 2 tedy budou uvažovány hodnoty ze Souhrnné technické zprávy Pöyry Environment a.s., díky čemuž bude návrh přikloněn na stranu bezpečnosti.

Dalším hydrologickým podkladem pro návrh MVE Vydra 2 byla mapa se znázorněním aktivní zóny záplavového území při Q_{100} (Obrázek 22).



Obrázek 22 Aktivní zóna záplavového území při Q_{100} (6)

Na Obrázku výše (Obrázek 22) můžeme vidět skutečnost, že záplavové území při 100 leté povodni nezasahuje do prostoru MVE Vydra 2, tudíž povodeň takového rozsahu neohrozí budoucí konstrukce.

2.5. Manipulační řád

Stávající MVE Vydra řídí svou manipulaci na základě průtoku ve Vydře. Do Vchynicko-Tetovského kanálu, jímž je elektrárna napájena, je odebírán takový průtok, aby řečištěm Vydry mezi odběrným objektem u jezu Rechle protékal minimální zůstatkový průtok, jehož hodnoty jsou přesně stanoveny.

Měsíc	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	
MQ (m ³ /s)	0,3	0,3	0,3	0,7	0,7	0,7	0,4	0,4	vše odstávka VD	0,5	0,5	0,3

Tabulka 3 Zaručené průtoky korytem řeky Vydry pod odběrným objektem - jez Rechle (5)

Dále se provozování MVE Vydra řídí manipulačním řádem, vycházejícím ze zákona č. 254/2001 Sb. – Zákon o vodách a o změně některých zákonů.

N-leté a m-denní průtoky pro MVE Vydra, respektive Vchynicko-Tetovský kanál je možné odvodit z N-letých a m-denních průtoků pro profil Modrava odečtením minimálního zůstatkového průtoky, jež má být zaručen v korytě Vydry pod tímto profilem.

Minimální hodnota zůstatkového průtoky je 0,3 m³/s, hodnota maximální je 0,7 m³/s. Pro získání N-letých a m-denních průtoků v profilu MVE Vydra byla uvažována hodnota nejnižší.

V následující tabulce (Tabulka 4) jsou výsledné m-denní a N-leté průtoky profilem MVE Vydra.

m-denní průtoky		N-leté průtoky	
m	Q [m ³ /s]	N	Q [m ³ /s]
30	6,01	1	32,7
60	4,29	2	47,7
90	3,4	5	69,7
120	2,82	10	88,7
150	2,38	20	108,7
180	2,03	50	138,7
210	1,74	100	162,7
240	1,47		
270	1,23		
300	1		
330	0,75		
355	0,46		
364	0,22		

Tabulka 4 m-denní a N-leté průtoky MVE Vydra

3. Varianty technického řešení

Hledané technické řešení MVE Vydra 2 musí odpovídat parametrům, které lokalita umožňuje. Musí být tedy vhodné pro nízký spád a špičkový provoz elektrárny. Zároveň nesmí být řešení příliš ekonomicky náročné. Je tedy nutno zvolit řešení jednoduché, s nízkým výkonem bez regulace, které bude možné umístit do jímky bez větších stavebních zásahů.

Tyto parametry splňuje několik následujících variant:

1. Kaplanova turbína typu PIT

Jedná se o přímoproudou Kaplanovu turbínu s diagonálním rozvaděčem a přímou kuželovou savkou. Vysokootáčkový generátor i převodovka, přes níž je generátor poháněn, jsou umístěny v šachtě turbíny. Při použití této varianty je možné dosáhnout ekonomické efektivity i u nízkospádových lokalit.

Toto řešení však vyžaduje suchou strojovnu, díky čemuž by vzrostly stavební náklady.

2. Archimédův šroub

Další možností je využít Archimédova šroubu. Tato varianta je však prostorově náročná, a proto by bylo nutné stavebně upravit stěnu odpadního kanálu MVE Vydra a stávající jímku a vybudovat konstrukci umožňující osazení Archimédova šroubu.



Obrázek 23 Archimédův šroub v turbínovém režimu (zdroj Kovosit MAS)

Vzhledem k požadavku na co nejméně zásahů do stávající stavby MVE Vydra je tato varianta nevhodná.

3. PAT – pump used as turbine

PAT je vyjádření pro využití čerpadla v turbínovém režimu pro malé vodní elektrárny. Zkratka vychází z anglického výrazu „pump used as turbine“, tedy čerpadlo využitě jako turbína. Tato varianta vyžaduje suchou strojovnu, nebo je možné použít ponorné řešení. Z ponorné varianty tohoto konceptu vychází i návrh soustrojí pro MVE Vydra 2, jež je uvedeno v následující kapitole.

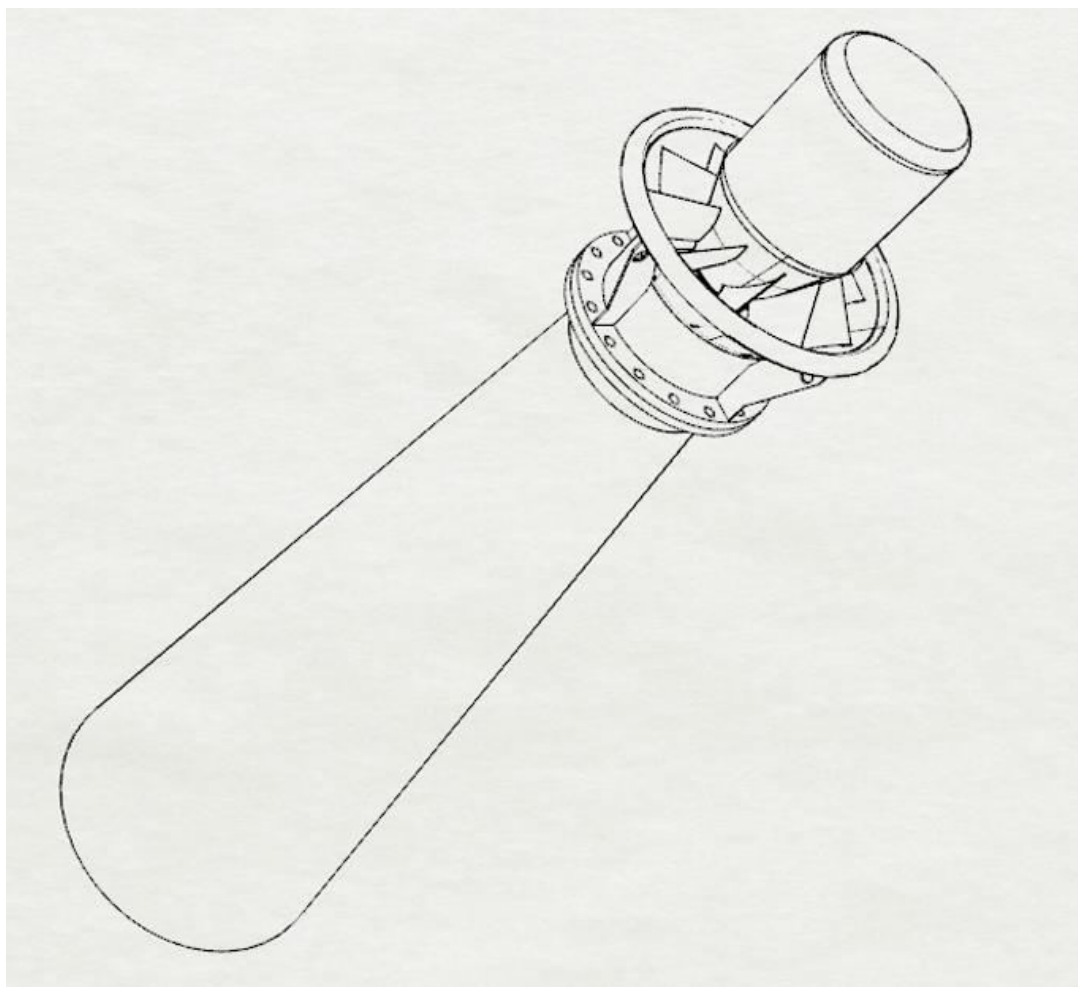
4. Zvolené koncepční řešení

Koncept pro návrh MVE Vydra 2 byl volen s ohledem na minimalizaci stavebních nákladů a maximální využití stávajících stavebních konstrukcí. Dalším faktorem zahrnutým do volby řešení je nutnost nepřerušit provoz stávající MVE Vydra při instalaci MVE Vydra 2 a manipulaci s tímto soustrojím. Soustrojí MVE Vydra 2 musí být osazeno během každoroční zářijové odstávky, tedy doba instalace nesmí překročit 30 dnů. Soustrojí musí být snadno demontovatelné, aby bylo možné jej v případě potřeby servisovat bez omezení provozu stávající MVE Vydra.

S přihlédnutím na podmínky uvedené výše byla zvolena jednoduchá technologie bez možnosti regulace. Soustrojí musí být provozováno při konstantním průtoku a na konstantním spádu. Průtoky nižší než návrhový a rozdíl průtoků vyšších a zvoleného návrhového průtoku nebudou využity.

4.1. Popis

Vybrané koncepční řešení zahrnuje ponořený agregát s obtékaným generátorem, jež je chlazen obtékající vodou. Oběžné i rozváděcí kolo má pevné, neregulovatelné lopatky. Celé soustrojí je možné vyrobit z běžně dostupných dílů, přičemž lopatky oběžného kola budou vyrobeny pomocí 3D tisku.



Obrázek 24 Model zvoleného soustrojí

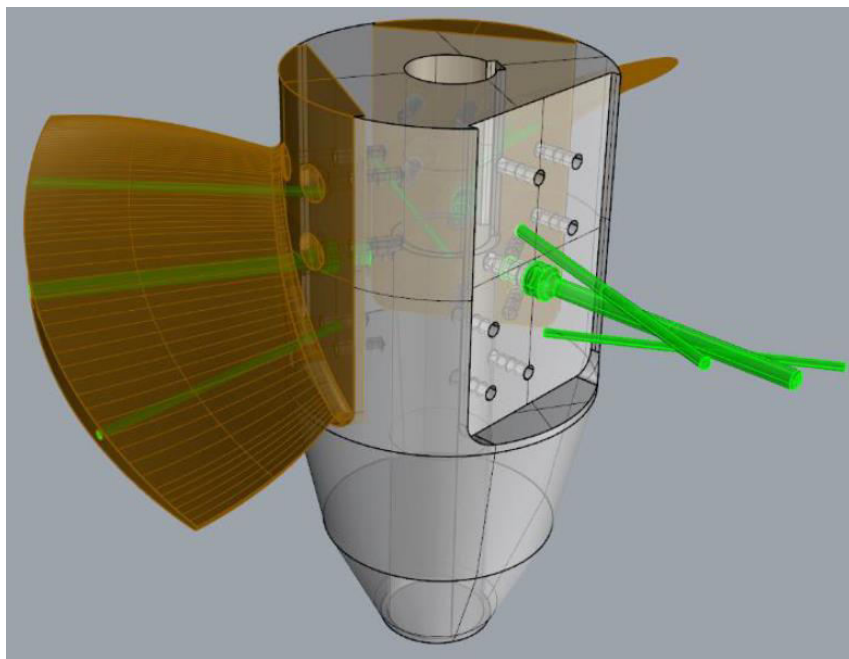
4.2. Prototyp zvoleného soustrojí

Návrh soustrojí vychází z již navrženého konceptu mikroturbíny použité v lokalitě „Bělídlo“, na němž se podílel Ing. Martin Kantor spolu s Ing. Evou Škařupovou. K tomuto konceptu byl vyroben plně funkční prototyp soustrojí.

Parametry prototypu:

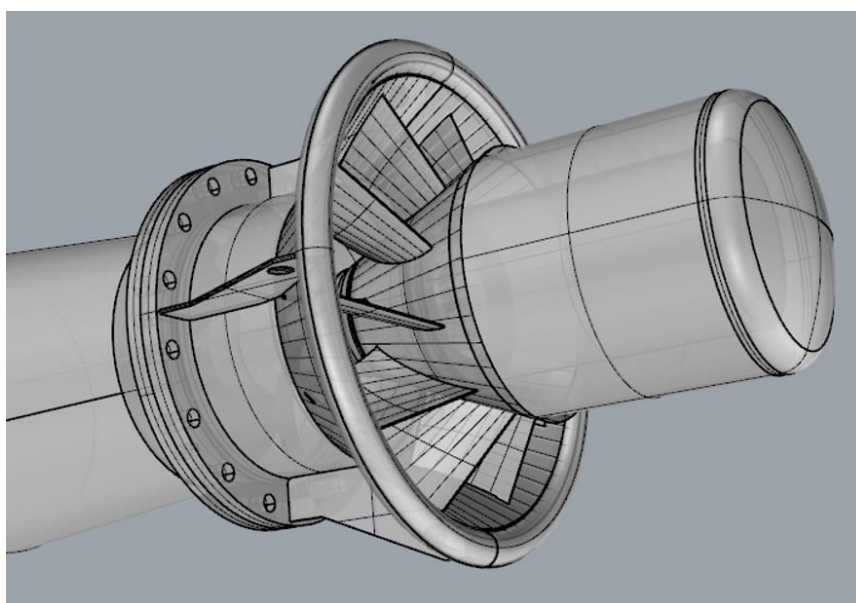
Návrhový spád	1,50 m
Návrhový průtok	0,40 m ³ /s
Jmenovitý výkon generátoru	5,50 kW
Počet lopatek	3
Průměr náboje	140 mm
Průměr oběžného kola	350 mm
Provozní otáčky	600 ot/min
Specifické otáčky	277 ot/min

Oběžné kolo prototypu má válcovou komoru a válcový náboj s vyměnitelnými lopatkami vyrobenými pomocí 3D tisku, jež jsou vyztuženy ocelovými trny (zeleně na obrázku níže - Obrázek 25).



Obrázek 25 Model oběžného kola prototypu zvoleného soustrojí

Rozváděcí lopatky prototypu mají tvar části pláště komolého kužele se zaoblenou nátokovou hranou a tvoří rozvinutelnou plochu, díky čemuž je možná snadná výroba pomocí ohýbání plechu. Vnější plášť rozváděcího kola je vyztužen skruženou trubicou (viz. Obrázek 26).



Obrázek 26 Model oběžného kola prototypu s generátorem

4.3. Vlastní řešení

Pro lokalitu MVE Vydra bude využito stejného řešení jako v konceptu MVE Bělídlo, přičemž savka bude umístěna v trubním přiváděči do zemní jímky tak, aby oběžné kolo s generátorem přesahovalo do odpadního kanálu MVE Vydra a bylo je možné snadno demontovat. Tato část bude k savce připevněna pomocí zámku, jež se používá pro ponorná čerpadla. Bude tedy možné ji kdykoli pomocí zdvihacího zařízení na břehu odpojit a vyzvednout.

Toto řešení je výhodné zejména díky tomu, že pro jeho uskutečnění není potřeba žádné stavební části, je snadno demontovatelné, nehrozí zatopení strojovny při povodních, je nehlučné a prakticky bez vibrací.

5. Výpočet hydroenergetického potenciálu lokality

5.1. Horní voda

Vliv horní vody v odpadním kanálu MVE Vydra na MVE Vydra 2 závisí na průtoku stávající elektrárnou. Na konci odpadního kanálu je klapka, která má nejvyšší polohu na kótě 640,6 m n. m. Pro zjištění hloubky vody v odpadním kanálu byla sestavena konzumpční křivka na přepadu přes tuto klapku.



Obrázek 27 Klapka s ovládacím mechanismem - pohled z horní vody



Obrázek 28 Klapka - pohled z dolní vody

Pro zvolené výšky přepadového paprsku byly spočítány odpovídající hodnoty průtoku pomocí rovnice přepadu:

$$Q = m \cdot b \cdot \sqrt{2g} \cdot h^{\frac{3}{2}}$$

Rovnice 2

(7)

Kde: Q je průtok

m je součinitel přepadu

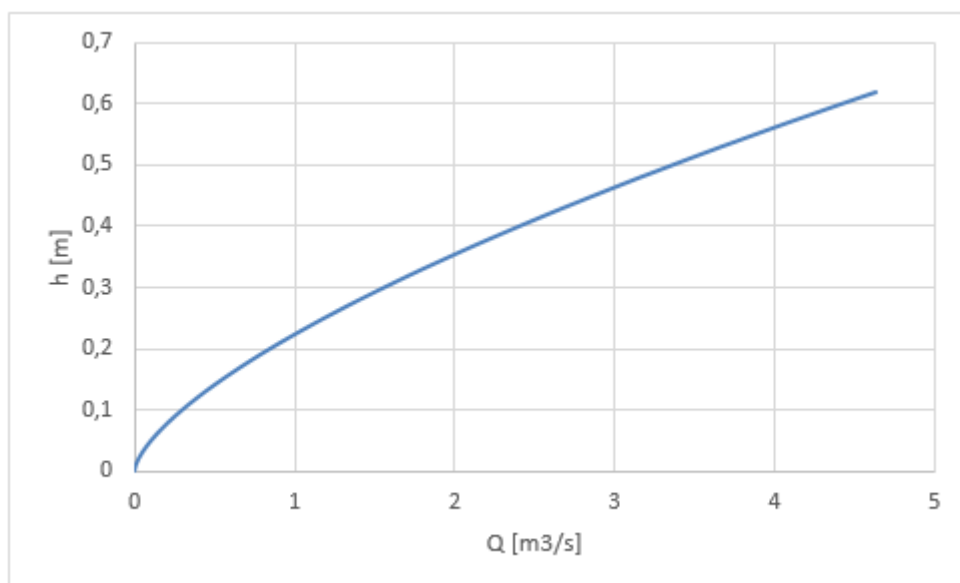
b je šířka odpadního kanálu

g je gravitační zrychlení

h je tloušťka přepadového paprsku

Hodnota přepadového součinitele byla zvolena konstantní 0,4 a šířka odpadního kanálu b je 5,35 m.

Výsledná konzumpční křivka vypadá takto (Obrázek 29):



Obrázek 29 Konzumpční křivka paprsku přepadajícího přes klapku v odpadním kanále MVE Vydra

Na grafu výše (Obrázek 29) vidíme, že při nejčastějším průtoku protékajícím MVE Vydra, tj. $1,75 \text{ m}^3/\text{s}$ je tloušťka přepadového paprsku $0,3 \text{ m}$. Kóta hladiny horní vody je tedy $340,9 \text{ m n. m.}$ Pro výpočet hydroenergetického potenciálu lokality bude tloušťka přepadového paprsku zanedbána a kóta horní vody bude uvažována na kótě $640,6 \text{ m n. m.}$, přičemž skutečná kóta hladiny bude vyšší a reálná výroba se tak oproti předpokladu zvýší.

5.2. Dolní voda

Na následujícím obrázku (Obrázek 30) je fotografie pohledu na dolní vodu pod výtokem ze stávající MVE Vydra.



Obrázek 30 Pohled na koryto Vydry od výtoku z MVE Vydra po proudu

Pro zjištění vlivu dolní vody na MVE Vydra 2 byla sestavena konzumpční křivka (Obrázek 31) v místě předpokládaného vyústění savky MVE Vydra 2. Tento profil se nachází na ř. km 14 a je vzdálen 23 m od osy odpadního kanálu stávající MVE Vydra.

Pro zvolené výšky hladin v tomto profilu byly dopočítány odpovídající hodnoty průtoku. Nejprve byla pro každou výšku hladiny změřena průtočná plocha a omočený obvod. Z těchto hodnot byl dále spočítán hydraulický poloměr dle vztahu:

$$R = \frac{S}{O} \quad \text{Rovnice 3}$$

(8)

Kde: R je hydraulický poloměr
 S je průtočná plocha
 O je omočený obvod

Průtok byl stanoven z rovnice kontinuity:

$$Q = S \cdot v$$

Rovnice 4

(8)

Kde: Q je průtok korytem

S je průtočná plocha

v je průměrná rychlost v korytě

Rychlost byla vypočtena pomocí Chézyho rovnice za použití změřeného sklonu $i=3\%$:

$$v = c \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Rovnice 5

(8)

Chézyho rychlostní součinitel c je vypočten ze vztahu:

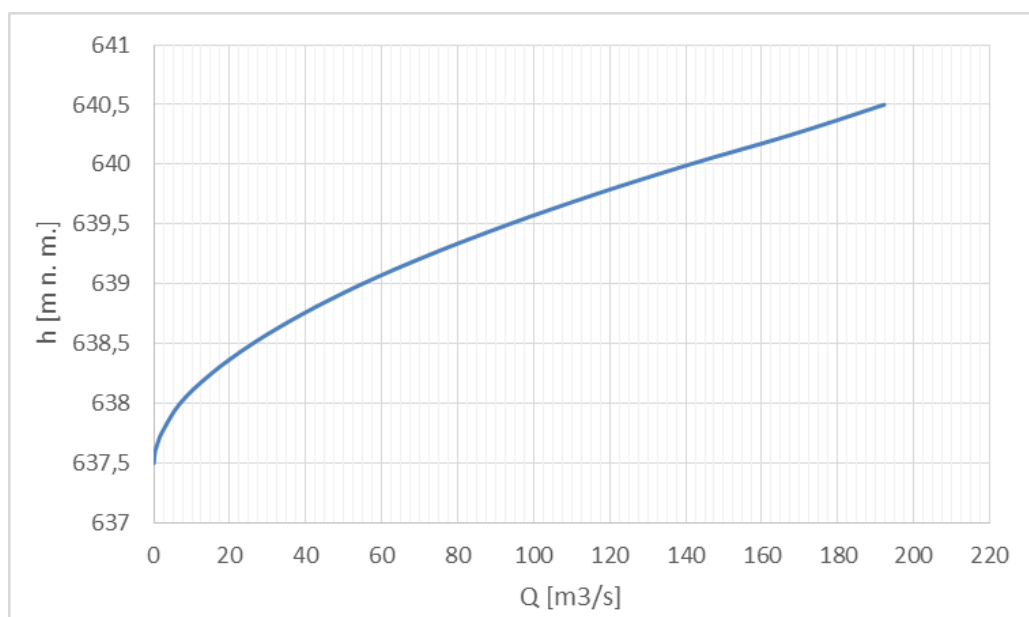
$$c = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

Rovnice 6

(8)

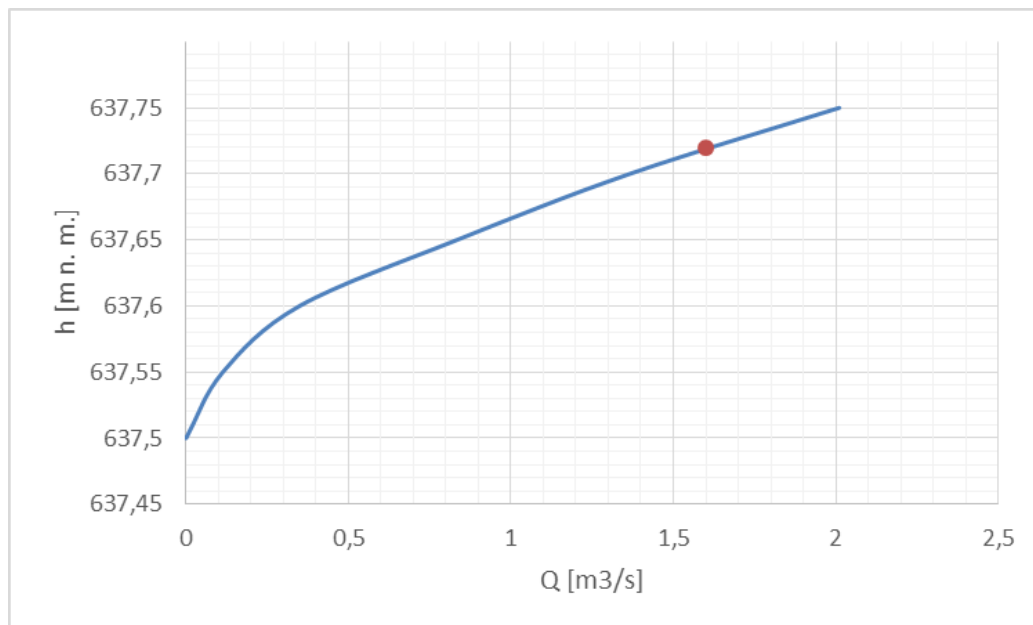
Drsnost celého koryta n byla určena hodnotou 0,086.

Výsledná konzumpční křivka vypadá takto (Obrázek 31):



Obrázek 31 Konzumpční křivka na výtoku z MVE Vydra 2

A v detailu pro nižší průtoky (Obrázek 32):



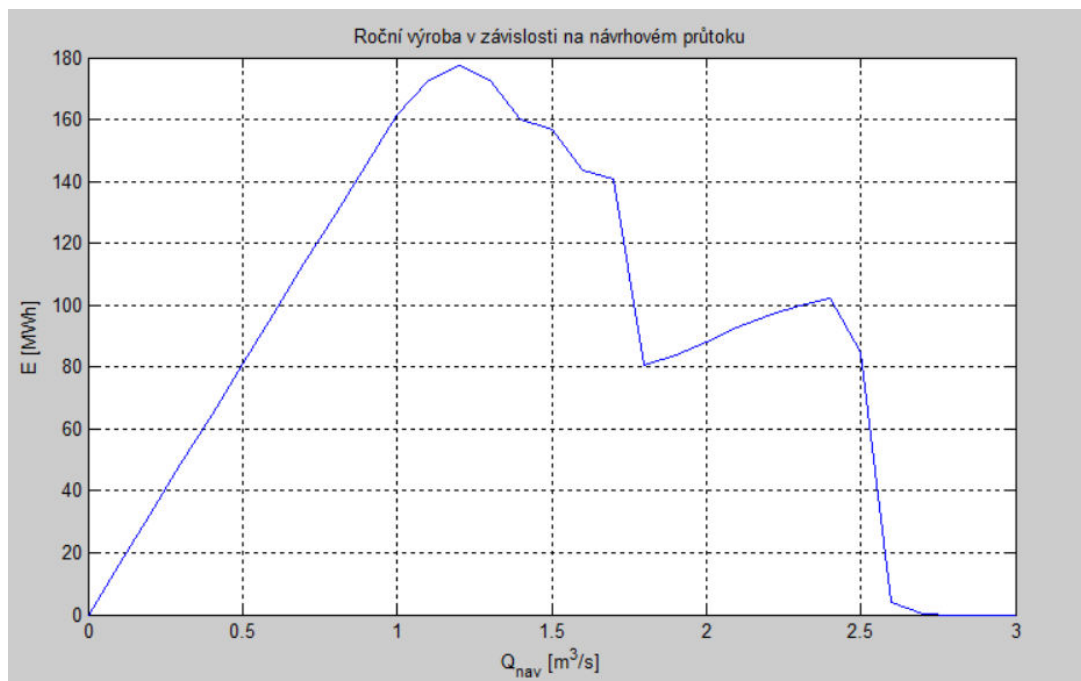
Obrázek 32 Detail konzumpční křivky pro nižší průtoky s hodnotou do 2 m³/s

Z detailní konzumpční křivky pro průtoky do 2 m³/s (Obrázek 32) lze odečíst kótu hladiny spodní vody při hodnotě průtoku korytem Vydry 1,6 m³/s, která je v grafu vyznačena červeným bodem. Tato hodnota je 637,72 m n. m.

5.3. Teoretická roční výroba

Pro určení teoretické roční výroby byl zvolen hrubý spád 2,86 m. To odpovídá stavu, kdy je horní hladina na úrovni klapky v nejvyšší poloze (640,6 m n. m.) a dolní hladina je na kótě 637,72 m n. m., což odpovídá výšce hladiny dolní vody při průtoku 1,6 m³/s. Čistý spád je tedy roven hodnotě 2,66 m. To odpovídá hodnotě hrubého spádu po odečtení ztrát, které činí přibližně 0,2 m, tedy 7 % hrubého spádu.

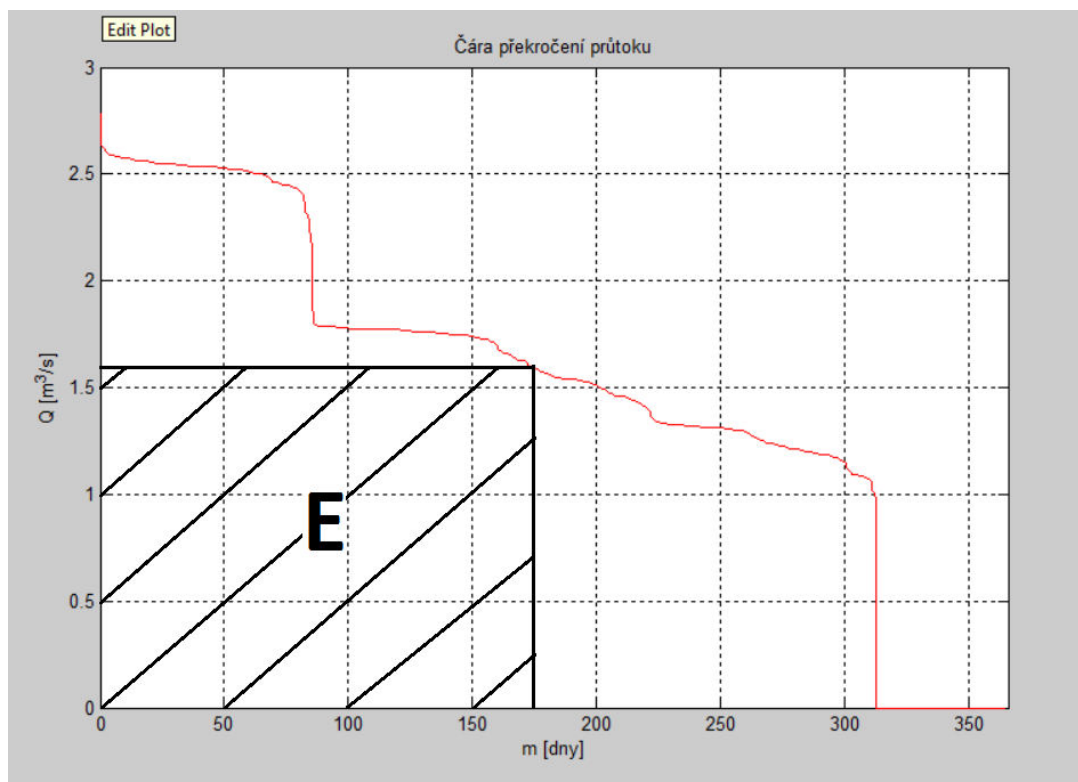
Pro zvolení ideálního návrhového průtoku byl sestaven graf závislosti roční výroby na návrhovém průtoku (Obrázek 33).



Obrázek 33 Roční výroba v závislosti na návrhovém průtoku

Z tohoto grafu (Obrázek 33) můžeme určit, že nejvyšší roční výroba při stávajícím režimu provozu MVE Vydra nastane při zvolení návrhového průtoku pro MVE Vydra 2 na hodnotu 1,2 m³/s.

Hodnota roční výroby může být také vyjádřena jako integrál čáry překročení průtoku. Z čáry překročení průtoku tak můžeme pro každé Q návrhové vykreslit obdélník, jehož obsah vyjadřuje roční spotřebu při daném průtoku (Obrázek 34).

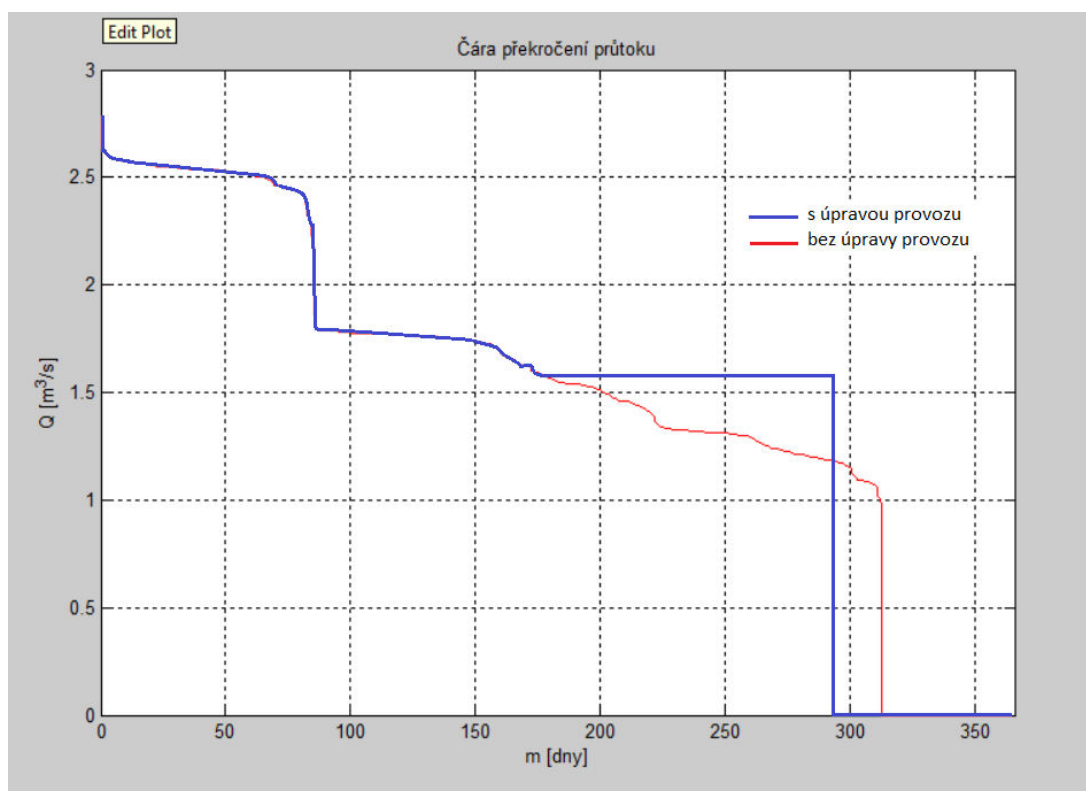


Obrázek 34 Integrace čáry překročení průtoku

Na obrázku výše (Obrázek 34) je znázorněna integrace čáry překročení průtoku pro návrhový průtok $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Vyšrafovaná oblast odpovídá roční výrobě energie pro tento návrhový průtok. Jelikož soustrojí dokáže využít pouze Q návrhové, průtoky nižší než tato hodnota nebudou při stávajícím způsobu provozu MVE Vydra využity, stejně jako rozdíl průtoků vyšších a zvoleného návrhového průtoku.

Z tohoto důvodu by bylo vhodné upravit provoz MVE Vydra tak, aby byly na elektrárnu pouštěny pouze průtoky větší nebo rovny Q návrhové. Tím by se prodloužila doba odstávky soustrojí MVE Vydra v případě nedostatečného průtoku a doba provozu by se naopak zkrátila. Soustrojí použité pro MVE Vydra 2 by však mohlo být v provozu delší dobu a roční výroba by tudíž stoupla.

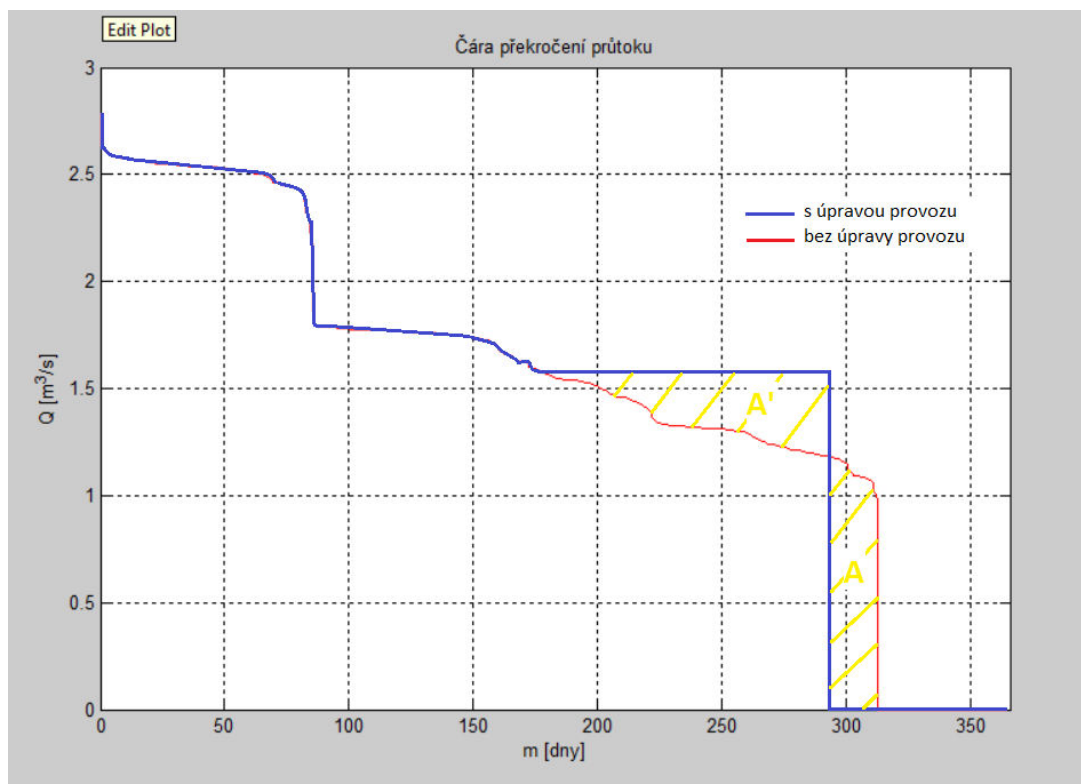
Pro tuto variantu byla sestrojena nová čára překročení průtoku (Obrázek 35).



Obrázek 35 Čára překročení průtoku po úpravě provozu MVE Vydra

Na tomto grafu (Obrázek 35) vidíme rozdíl mezi původní čarou překročení průtoku (červeně) a touto čarou po úpravě provozu MVE Vydra (modře). Čára tedy již neklesá pod daný návrhový průtok, ale po dosažení této hodnoty zůstává konstantní, díky čemuž dříve nastane stav, kdy je průtok procházející elektrárnou nulový.

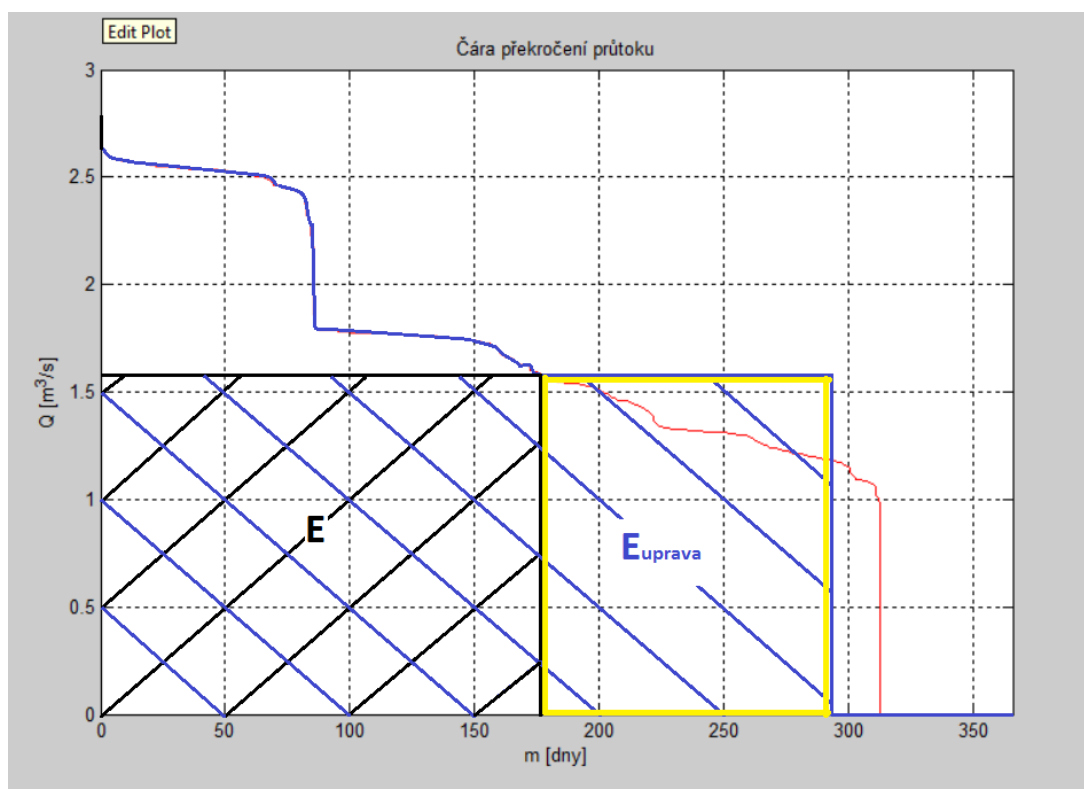
Kdy dosáhne nová čára překročení průtoku nulové hodnoty průtoku se dozvíme pomocí ploch pod těmito křivkami viz. Obrázek 36.



Obrázek 36 Grafické znázornění provedení úpravy provozu

Úprava provozu musí být provedena tak, aby plocha pod původní čarou překročení průtoku (A), jež má být odříznuta, byla rovna ploše nastavené novou čarou překročení průtoku, tj. ploše nad původní a pod novou čarou překročení průtoku (A').

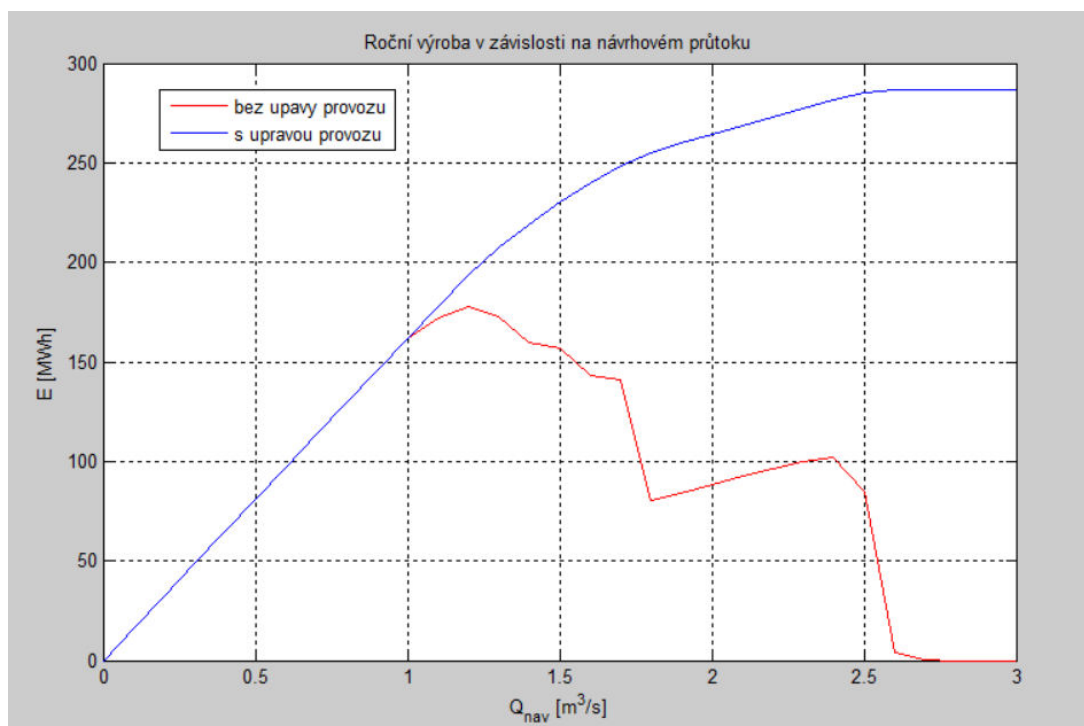
Integrace čáry překročení průtoku potom vypadá takto (Obrázek 37):



Obrázek 37 Integrace čáry překročení průtoku po úpravě provozu

Roční výroba se tak dle grafu výše (Obrázek 37) díky úpravě provozu MVE Vydra z původní plochy E (černě šrafovaná oblast) zvětší na oblast E_{uprava} (modře šrafovaná plocha). Rozdíl těchto ploch vyjadřuje nárůst roční výroby energie (žlutě orámovaná oblast).

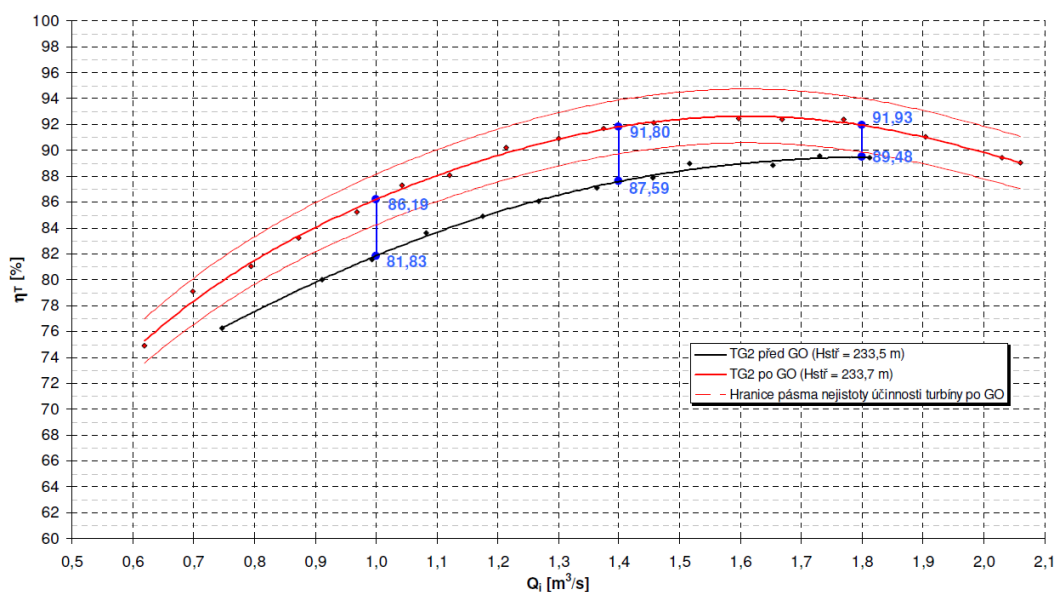
Pro porovnání roční výroby beze změny provozu MVE Vydra a s jeho změnou byl sestaven graf závislosti roční výroby na návrhovém průtoku pro obě varianty provozu (Obrázek 38).



Obrázek 38 Roční výroba v závislosti na návrhovém průtoku pro nezměněný a změněný provoz

Z grafu výše (Obrázek 38) vyplývá, že čím vyšší návrhový průtok zvolíme, tím bude po změně provozu roční výroba vyšší. Při volbě návrhového průtoku však musíme brát v potaz také potřeby TG1 a TG2 stávající MVE Vydra.

Ideální průtokový stav pro MVE Vydra byl získán z účinnostní charakteristiky TG2 po garanční opravě (Obrázek 39).



Obrázek 39 Porovnání účinnosti turbíny před a po opravě v závislosti na průtoku (2)

Z účinnostní charakteristiky TG2 po garanční opravě (červeně) na grafu výše (Obrázek 39) je zřejmé, že nejvyšších hodnot účinnosti turbína dosahuje při průtoku mezi 1,4 a 1,8 m³/s. Maximální účinnost odpovídá průtoku 1,6 m³/s. Bylo by tedy vhodné zvolit jako návrhový průtok pro MVE Vydra 2 právě průtok 1,6 m³/s.

5.4. Varianty spádu

Pro zvolení ideální polohy vyústění odpadního potrubí od MVE Vydra 2 byla sestavena tabulka závislosti roční výroby energie na zvoleném návrhovém průtoku a hodnotě hrubého spádu pro variantu bez úpravy provozu stávající elektrárny (Tabulka 5) a s jeho úpravou (Tabulka 6). Hodnoty roční výroby energie jsou uvedeny v MWh.

Roční výroba - varianta bez úpravy provozu:

<div> <div>H_b</div> <div>Q_{nav}</div> </div>	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0 m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1 m ³ /s	12,44991	13,01582	13,58172	14,14763	14,71353	15,27944	15,84534	16,41125	16,97715
0,2 m ³ /s	24,89982	26,03163	27,16344	28,29525	29,42706	30,55887	31,69068	32,82249	33,9543
0,3 m ³ /s	37,34973	39,04745	40,74516	42,44288	44,1406	45,83831	47,53603	49,23374	50,93146
0,4 m ³ /s	49,79677	52,06026	54,32375	56,58724	58,85073	61,11422	63,37771	65,6412	67,90469
0,5 m ³ /s	62,24389	65,07316	67,90242	70,73169	73,56096	76,39023	79,2195	82,04876	84,87803
0,6 m ³ /s	74,69134	78,0864	81,48146	84,87652	88,27158	91,66664	95,06171	98,45677	101,8518
0,7 m ³ /s	87,13738	91,09817	95,05896	99,01975	102,9805	106,9413	110,9021	114,8629	118,8237
0,8 m ³ /s	99,58292	104,1094	108,6359	113,1624	117,6889	122,2154	126,7419	131,2684	135,7949
0,9 m ³ /s	112,0263	117,1184	122,2105	127,3026	132,3947	137,4868	142,5789	147,671	152,7632
1 m ³ /s	124,3329	129,9844	135,6359	141,2874	146,9389	152,5904	158,2419	163,8934	169,5449
1,1 m ³ /s	132,4516	138,4721	144,4926	150,5131	156,5337	162,5542	168,5747	174,5952	180,6158
1,2 m ³ /s	136,4742	142,6776	148,8809	155,0843	161,2877	167,4911	173,6944	179,8978	186,1012
1,3 m ³ /s	132,9438	138,9867	145,0296	151,0725	157,1154	163,1583	169,2012	175,2441	181,287
1,4 m ³ /s	123,1124	128,7085	134,3045	139,9005	145,4965	151,0926	156,6886	162,2846	167,8806
1,5 m ³ /s	120,4561	125,9314	131,4067	136,882	142,3572	147,8325	153,3078	158,7831	164,2584
1,6 m ³ /s	110,348	115,3638	120,3796	125,3955	130,4113	135,4271	140,4429	145,4587	150,4746
1,7 m ³ /s	108,3525	113,2776	118,2027	123,1278	128,0529	132,978	137,9032	142,8283	147,7534
1,8 m ³ /s	61,9008	64,71448	67,52815	70,34182	73,15549	75,96917	78,78284	81,59651	84,41019
1,9 m ³ /s	64,51552	67,44804	70,38056	73,31309	76,24561	79,17814	82,11066	85,04318	87,97571
2 m ³ /s	67,87126	70,95631	74,04137	77,12643	80,21149	83,29654	86,3816	89,46666	92,55172
2,1 m ³ /s	71,25495	74,49381	77,73267	80,97153	84,2104	87,44926	90,68812	93,92698	97,16584
2,2 m ³ /s	74,30863	77,6863	81,06396	84,44163	87,8193	91,19696	94,57463	97,95229	101,33
2,3 m ³ /s	76,84372	80,33662	83,82951	87,32241	90,81531	94,3082	97,8011	101,294	104,7869
2,4 m ³ /s	78,47278	82,03972	85,60667	89,17361	92,74056	96,3075	99,87445	103,4414	107,0083
2,5 m ³ /s	65,33606	68,30588	71,2757	74,24552	77,21534	80,18516	83,15498	86,12481	89,09463
2,6 m ³ /s	3,019179	3,156415	3,29365	3,430885	3,568121	3,705356	3,842592	3,979827	4,117062
2,7 m ³ /s	0,01717	0,01795	0,01873	0,019511	0,020291	0,021072	0,021852	0,022633	0,023413
2,8 m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2,9 m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3 m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabulka 5 Závislost roční výroby energie na návrhovém průtoku a hodnotě hrubého spádu bez úpravy provozu stávající elektrárny

Pro variantu bez úpravy provozu vychází dle tabulky výše (Tabulka 5) nejvyšší hodnota roční výroby energie při hodnotě spádu 3 m a návrhovém průtoku 1,2 m³/s. Hodnota roční výroby energie je v tomto případě 186 MWh.

Roční výroba - varianta s úpravou provozu:

<div> <div>H_b</div> <div>Q_{nav}</div> </div>		2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3
		[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]	[m]
0	m ³ /s	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	m ³ /s	12,44989	13,01579	13,5817	14,1476	14,7135	15,27941	15,84531	16,41122	16,97712
0,2	m ³ /s	24,89978	26,03158	27,16339	28,2952	29,42701	30,55882	31,69062	32,82243	33,95424
0,3	m ³ /s	37,34966	39,04738	40,74509	42,4428	44,14051	45,83822	47,53594	49,23365	50,93136
0,4	m ³ /s	49,79919	52,06279	54,32639	56,58999	58,85359	61,11719	63,38079	65,64439	67,90799
0,5	m ³ /s	62,24817	65,07764	67,9071	70,73656	73,56602	76,39549	79,22495	82,05441	84,88387
0,6	m ³ /s	74,69684	78,09215	81,48747	84,88278	88,27809	91,6734	95,06871	98,46402	101,8593
0,7	m ³ /s	87,14523	91,10638	95,06753	99,02867	102,9898	106,951	110,9121	114,8733	118,8344
0,8	m ³ /s	99,59323	104,1202	108,6472	113,1741	117,7011	122,2281	126,755	131,282	135,809
0,9	m ³ /s	112,0407	117,1335	122,2263	127,319	132,4118	137,5045	142,5973	147,6901	152,7828
1	m ³ /s	124,4863	130,1448	135,8033	141,4617	147,1202	152,7787	158,4371	164,0956	169,7541
1,1	m ³ /s	136,8235	143,0427	149,262	155,4812	161,7005	167,9197	174,139	180,3582	186,5774
1,2	m ³ /s	148,6925	155,4512	162,21	168,9687	175,7275	182,4862	189,245	196,0037	202,7625
1,3	m ³ /s	159,4133	166,6594	173,9055	181,1515	188,3976	195,6436	202,8897	210,1358	217,3818
1,4	m ³ /s	168,5437	176,2047	183,8658	191,5269	199,188	206,8491	214,5101	222,1712	229,8323
1,5	m ³ /s	176,9825	185,0272	193,0719	201,1165	209,1612	217,2058	225,2505	233,2952	241,3398
1,6	m ³ /s	184,4235	192,8063	201,1892	209,5721	217,955	226,3379	234,7208	243,1037	251,4865
1,7	m ³ /s	191,0324	199,7157	208,399	217,0822	225,7655	234,4488	243,1321	251,8154	260,4987
1,8	m ³ /s	196,2972	205,2199	214,1425	223,0651	231,9877	240,9103	249,8329	258,7555	267,6781
1,9	m ³ /s	199,7114	208,7892	217,867	226,9448	236,0225	245,1003	254,1781	263,2559	272,3337
2	m ³ /s	203,1053	212,3373	221,5694	230,8014	240,0335	249,2656	258,4976	267,7297	276,9617
2,1	m ³ /s	206,4986	215,8849	225,2712	234,6575	244,0438	253,4301	262,8164	272,2027	281,589
2,2	m ³ /s	209,8909	219,4314	228,9719	238,5124	248,0529	257,5934	267,1339	276,6744	286,2149
2,3	m ³ /s	213,2563	222,9497	232,6432	242,3367	252,0301	261,7236	271,4171	281,1105	290,804
2,4	m ³ /s	216,5465	226,3896	236,2326	246,0756	255,9186	265,7617	275,6047	285,4477	295,2907
2,5	m ³ /s	219,5115	229,4892	239,467	249,4448	259,4226	269,4004	279,3782	289,356	299,3338
2,6	m ³ /s	220,7147	230,7472	240,7797	250,8122	260,8447	270,8771	280,9096	290,9421	300,9746
2,7	m ³ /s	220,7435	230,7773	240,8111	250,8449	260,8787	270,9125	280,9463	290,9801	301,0139
2,8	m ³ /s	220,7437	230,7775	240,8113	250,8451	260,8789	270,9127	280,9465	290,9804	301,0142
2,9	m ³ /s	220,7437	230,7775	240,8113	250,8451	260,8789	270,9127	280,9465	290,9804	301,0142
3	m ³ /s	220,7437	230,7775	240,8113	250,8451	260,8789	270,9127	280,9465	290,9804	301,0142

Tabulka 6 Závislost roční výroby energie na návrhovém průtoku a hodnotě hrubého spádu při úpravě provozu stávající elektrárny

Při úpravě provozu se dle tabulky výše (Tabulka 6) maximální hodnota roční výroby energie zvýší na hodnotu 301 MWh při návrhovém průtoku 2,8-3 m³/s a hodnotě hrubého spádu 3 m.

V předchozí kapitole (5.3. Teoretická roční výroba) byla rozebrána ideální varianta průtoku pro stávající elektrárnu. Z účinnostní charakteristiky (Obrázek 39) bylo zjištěno, že nejvyšší účinnosti dosahují obě soustrojí stávající elektrárny při průtoku $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Je tedy vhodné ponechat tento průtok jako průtok návrhový pro soustrojí MVE Vydra 2, přičemž hodnotu roční výroby energie můžeme měnit pomocí zvyšování spádu.

Po konzultaci s Ing. Martinem Kantorem, jež se podílel na návrhu prototypu soustrojí, jež má být použito pro MVE Vydra 2, byl zvolen ideální spád o hodnotě 2,86 m. Tato hodnota byla doporučena kvůli kavitaci, která by se při vyšším spádu mohla vyskytnout.

Maximální teoretická roční výroba energie by tedy při návrhovém průtoku $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a hrubém spádu 2,86 m měla mít hodnotu 240 MWh při změně provozu stávající elektrárny a 144 MWh při stávajícím způsobu provozu.

5.5. Varianta výměnného OK

V případě, že nebude možné změnit způsob provozu MVE Vydra tak, aby byl vypouštěn jako nejnížší pouze průtok návrhový, tedy $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, bylo by velké množství průtoků MVE Vydra 2 nevyužito. Proto by v tomto případě bylo vhodné navrhnout druhé, vyměnitelné oběžné kolo, jehož návrhový průtok by byl $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Bylo by potom možné využít i nižší průtoky v suchém období roku, přičemž stoupla-li by hodnota průtoku na $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, bylo by oběžné kolo vyměněno za kolo s vyšším návrhovým průtokem. Obě oběžná kola by měla stejný průměr a stejné návrhové otáčky.

5.6. Vodohospodářské řešení nádrže

Pro posouzení, zda je možné úpravu provozu MVE Vydra uskutečnit je nutné zjistit, jaký je potřebný objem akumulační nádrže nad elektrárnou, z níž je voda přiváděna.

Potřebný objem nádrže byl vypočítán s pomocí rovnic pro výpočet vyrovnávací nádrže (Rovnice 8 a Rovnice 9). Nejprve byl zvolen rozsah průtoků přitékajících do akumulační nádrže Vchynicko-Tetovským kanálem. Byly použity průtoky od 0 do $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, což odpovídá hodnotám, pro které bude potřeba akumulační nádrží využít. Budou-li hodnoty průtoku vyšší než je průtok návrhový (tedy $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$), nebude voda v nádrži akumulována, ale bude pouštěna přímo na elektrárnu.

Z hodnoty průtoku do nádrže přitékajícího byl vypočten objem, jež přiteče za 24 hodin. Tedy:

$$V_{24} = Q_{\text{ř}} \cdot 3600 \cdot 24 \quad \text{Rovnice 7}$$

Kde V_{24} je hodnota objemu, jež přiteče za 24 hodin a $Q_{\text{ř}}$ je hodnota průtoku přitékajícího do nádrže.

Délka trvání špičky, tedy doba, po kterou je nutno vodu akumulovat, aby bylo možné z nádrže vypouštět průtok $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, označená τ , byla vypočtena ze vztahu:

$$\tau = \frac{Q_{\text{ř}} \cdot 24}{Q_t} \quad \text{Rovnice 8}$$

(9)

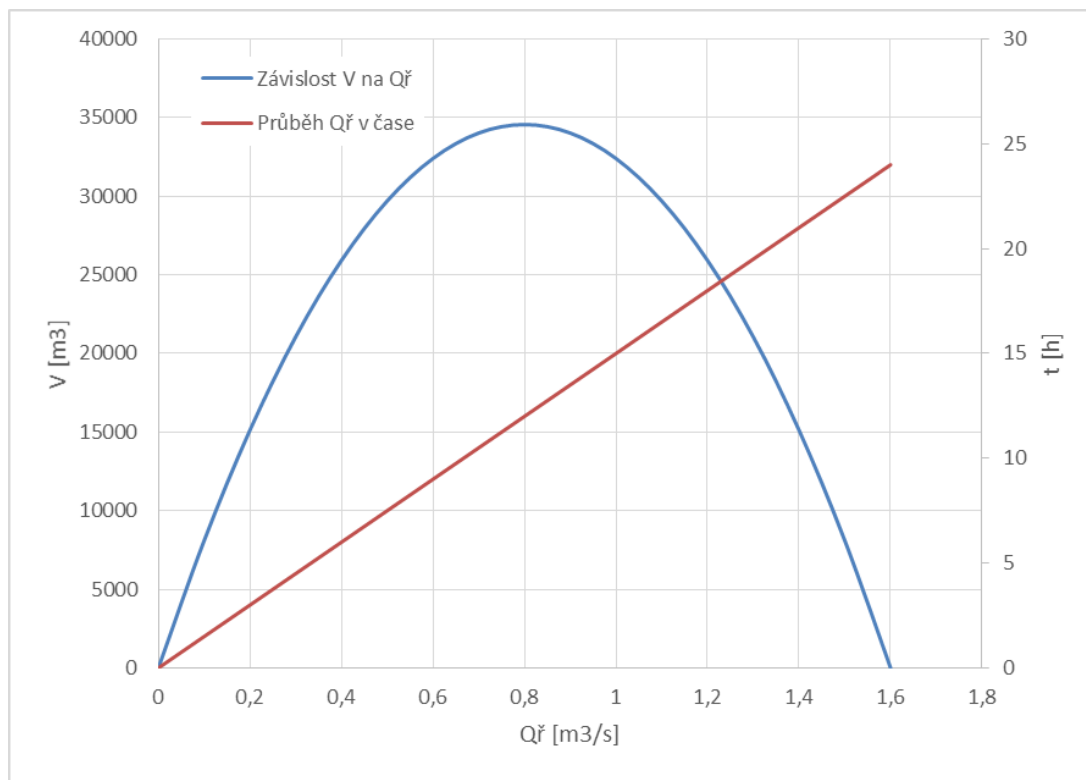
V této rovnici (Rovnice 8) vyjadřuje Q_t hodnotu turbínového výkonu, tedy Q_t je rovno návrhovému průtoku $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Hodnoty τ a $Q_{\text{ř}}$ jsou stejné jako výše.

Potřebný objem nádrže, značen V , byl poté vypočítán ze vztahu:

$$V = Q_t \cdot \tau \cdot 3600 - Q_{\text{ř}} \cdot \tau \cdot 3600 \quad \text{Rovnice 9}$$

(9)

Výsledkem výpočtů uvedených výše je graf závislosti objemu nádrže na průtoku Vchynicko-Tetovským kanálem (Obrázek 40).



Obrázek 40 Graf závislosti objemu nádrže na průtoku Vchynicko-Tetovským kanálem

Graf výše (Obrázek 40) zobrazuje parabolický průběh potřebného objemu nádrže v závislosti na hodnotě průtoku ve Vchynicko-Tetovském kanále (modře) a současně průběh hodnoty přítoku v čase (červeně). Velikost odtoku (tedy průtok na elektrárnu) byla zvolena o hodnotě $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. To odpovídá ideální hodnotě průtoku na jedno soustrojí MVE Vydra pro dosažení maximální účinnosti a současně návrhovému průtoku MVE Vydra 2. Z této závislosti můžeme odečíst maximální potřebný objem akumulární nádrže. Jedná se o objem 35.000 m^3 , jež je potřebný při hodnotě přítoku do nádrže rovné $0,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (doba trvání špičky je rovna 12 h). Využitelný objem stávající nádrže je 63.760 m^3 (viz. výše). Objem nádrže je tedy pro uskutečnění změny v provozu MVE Vydra 2 dostačující.

6. Návrh parametrů soustrojí

Parametry soustrojí byly navrženy na základě konzultace s Ing. Martinem Kantorem, který využil poznatků z provozu prototypu soustrojí na MVE Bělídlo.

Vstupními parametry pro návrh byly hodnoty hrubého spádu (2,86 m) a návrhového průtoku 1,6 m³/s pro oběžné kolo pro vodná období a 1,1 m³/s pro suchá období.

Průměr oběžného kola byl zvolen na hodnotu 600 mm a otáčky na 600 ot/min pro obě varianty.

Pro obě varianty byly vypočteny hodnoty jednotkového průtoku Q_{11} , jednotkových otáček n_{11} , měrných otáček n_q a výkonu generátoru P .

Pro výpočty byly provedeny pomocí následujících rovnic.

Výpočet jednotkového průtoku:

$$Q_{11} = \frac{Q}{D^2 \cdot \sqrt{H}} \quad \text{Rovnice 10}$$

(10)

Kde: Q_{11} je jednotkový průtok
 Q je návrhový průtok
 D je průměr oběžného kola
 H je spád turbíny

Výpočet jednotkových otáček:

$$n_{11} = \frac{n \cdot D}{\sqrt{H}} \quad \text{Rovnice 11}$$

(10)

Kde: n_{11} jsou jednotkové otáčky
 n jsou návrhové otáčky
 D je průměr oběžného kola
 H je spád turbíny

Výpočet měrných otáček:

$$n_q = \frac{n_{11}}{\sqrt{Q_{11}}}$$

Rovnice 12

(10)

Kde: n_q jsou měrné otáčky
 n_{11} jsou jednotkové otáčky
 Q_{11} je jednotkový průtok

Výpočet výkonu generátoru:

$$P = H \cdot Q \cdot \rho \cdot g \cdot \eta$$

Rovnice 13

(9)

Kde: P je výkon generátoru
 H je spád turbíny
 Q je návrhový průtok
 ρ je objemová hmotnost vody
 g je gravitační zrychlení
 η je celková účinnost

Dalšími vstupními údaji pro výpočty parametrů soustrojí pro MVE Vydra byly hodnoty účinnosti turbíny ($\eta_t=0,87$) a generátoru ($\eta_g=0,95$). Hodnota celkové účinnosti je 0,83.

Výsledky výpočtů parametrů turbíny pro vodné i suché období jsou shrnuty v následující tabulce (Tabulka 7).

D _{OK}	0,60	m	
n	600	ot/min	
H _n	2,86	m	
η _t	0,87	-	
η _g	0,95	-	
η _{celk}	0,83	-	
	vodné	suché	
Q	1,60	1,10	m3/s
Q ₁₁	2,63	1,81	m3/s
n ₁₁	212,87	212,87	ot/min
n _q	345,09	286,14	ot/min
počet lopatek	3	4	ks
P _g	37,10	25,51	kW

Tabulka 7 Parametry TG MVE Vydra 2 pro vodné a suché období

7. Způsob provozu soustrojí

V úvahu připadají dvě různé varianty způsobu provozu soustrojí MVE Vydra 2. První variantou je možnost změny provozu stávající MVE Vydra a variantou druhou je použití dvou různých oběžných kol, jednoho pro vodná období a jednoho pro období suchá.

7.1. Varianta změny provozu stávající elektrárny

V případě, že bude možno změnit stávající režim provozu MVE Vydra tak, že bude jako minimální vypouštění pouze průtok s hodnotou 1,6 m³/s, bude vyrobeno pouze jedno oběžné kolo s parametry navrženými na tento průtok. Toto soustrojí bude osazeno po celý rok a bude provozováno dle potřeby.

7.2. Varianta dvou oběžných kol

Pokud bude změna stávajícího provozu elektrárny uznána za neproveditelnou, budou vyrobeny dvě různá oběžná kola. Jedno bude pro vodná období s návrhovým průtokem $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a druhé pro období suchá s návrhovým průtokem $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Budou-li ze stávající MVE Vydra vypouštěny průtoky o hodnotě $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a vyšší, bude MVE Vydra 2 osazena oběžným kolem pro vodná období. V případě poklesu hodnoty průtoku vypouštěné ze stávající elektrárny pod hodnotu $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$, bude MVE Vydra 2 osazena oběžným kolem pro suchá období. Díky snadné demontovatelnosti soustrojí bude možné uskutečnit tuto výměnu v krátkém časovém intervalu.

8. Ekonomické zhodnocení

Ekonomické zhodnocení bylo provedeno pro variantu se změnou provozu stávající elektrárny na základě cenové vyhlášky Energetického regulačního úřadu. Výkupní cena energie je $2,70 \text{ Kč/kWh}$.

Plánovaná doba návratnosti je 8 let.

Teoretická roční výroba MVE Vydra 2 při změně provozu stávající elektrárny je 230 MWh . Pro tuto hodnotu byla sestavena tabulka předpokládaných příjmů (Tabulka 8).

Roční výroba	230 000	kWh/rok
Jednotková cena	2,70	Kč/kWh
Roční příjem	621 000	Kč/rok
Provozní náklady	30 000	Kč/rok
Zisk před zdaněním	591 000	Kč/rok

Tabulka 8 Teoretický roční zisk MVE Vydra 2 při změně provozu stávající elektrárny

Při prosté návratnosti za 8 let vychází odpovídající investice do MVE Vydra 2 na částku $4\,728\,000 \text{ Kč}$.

Předpokládaná investice do realizace MVE Vydra 2 je shrnuta v následující tabulce (Tabulka 9). Hodnoty byly získány na základě konzultací a jsou pouze orientační.

Hlava I.	Projektová dokumentace		170 000
	stavební část	50 000	
	strojní část	40 000	
	elektročást	80 000	
Hlava II.	Dodávka a montáž technologie		3 450 000
	strojní část	2 700 000	
	elektročást	750 000	
Hlava III.	Stavební práce		650 000
	šachta	150 000	
	odpad	500 000	
Hlava VI.	Vedlejší rozpočtové náklady		100 000
	zařízení staveniště	100 000	100 000
Hlava VII.	Zaměření, dokumentace skutečného provedení		15 000
		15 000	15 000
	Ostatní náklady		50 000
	rezerva	50 000	50 000
	<u>celkem</u>		<u>4 435 000</u>

Tabulka 9 Předpokládané investice do MVE Vydra 2 v Kč

Předpokládaná investice do MVE Vydra 2 je nižší, než příjmy za provoz po dobu 8 let (což odpovídá předpokládané prosté návratnosti). Doba prosté návratnosti tedy bude kratší než 8 let.

9. Závěr

Po prvotní analýze dat z MVE Vydra, díky níž bylo možné nastínit způsob provozu stávající elektrárny, byla z několika možných variant zvolena pro využití zbytkového spádu MVE Vydra koncepční varianta ponorného soustrojí, jehož prototyp byl vyzkoušen na lokalitě „Bělídlo“. Jedná se o soustrojí s ponorným agregátem bez regulace oběžného a rozváděcího kola, které pro své umístění nepotřebuje žádnou stavební část, je nehluké a téměř bez vibrací. Svými vlastnostmi vyhovuje požadavkům a možnostem lokality.

Pro návrh byly uvažovány dvě varianty. První varianta uvažuje možnost změny provozu stávající elektrárny tak, že bude jako nejnížší průtok vypouštět průtok návrhový pro MVE Vydra 2 s hodnotou $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$. Varianta druhá, pro případ, že změna provozu bude vyhodnocena jako neproveditelná, počítá se dvěma oběžnými koly pro vodná a suchá období, navrženými na různé návrhové průtoky, avšak se stejným průměrem (600 mm) a otáčkami (600 ot/min). Tato dvě kola by díky jednoduchosti demontáže soustrojí mohla být v případě nutnosti snadno vyměněna. První oběžné kolo by bylo navrženo na průtok $1,6 \text{ m}^3/\text{s}$ a kolo druhé na průtok $1,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Bylo by tak možné díky oběžnému kolu pro suchá období využít i nižší průtoky, přičemž by se díky kolu pro vodná období minimalizoval jalový průtok.

Varianta počítající s možností změny provozu stávající elektrárny, která byla zvolena jako nejvhodnější, byla následně ekonomicky zhodnocena. Ze zhodnocení vyplývá, že prostá návratnost je pro tuto variantu nižší než osm let, což odpovídá požadavkům zadavatele.

10. Použitá literatura

1. **Bischof, Ing. Richard.** Garanční měření VE Vydra; TG2 po výměně oběžného kola. *Technická zpráva*. Brno : autor neznámý, červen 2006.
2. **ČEZ.** Vydra. *SKUPINA ČEZ*. [Online] [Citace: 17. květen 2017.] <https://www.cez.cz/cs/vyroba-elektřiny/obnovitelne-zdroje/voda/vydra.html>.
3. **Šumava, NP.** Vchynicko-tetovský plavební kanál. *Národní park Šumava*. [Online] [Citace: 17. květen 2017.] <http://www.npsumava.cz/cz/1129/979/clanek/ns-vchynicko-tetovsky-plavebni-kanal/>.
4. **ČHMÚ.** Hlásná a předpoivědní povodňová služba. *Český hydrometeorologický ústav*. [Online] 2.. květen 2017. hydro.chmi.cz/hpps/hpps_prfdyn.php?seq=307241.
5. **Ing. Oldřich Neumayer, CSc.; Ing. Miloslav Kupský; Ing. Dalibor Pospíšil; Pavel Putna.** MVE Vydra 2. *Souhrnná technická zpráva*. Brno : Pöyry Environment a. s., 2007.
6. **DIBAVOD.** Oddělení geografických informačních systémů a kartografie. *Výzkumný ústav vodohospodářský T.G.Masaryka*. [Online] Odbor ochrany vod a informatiky-oddělení GIS, 2014. [Citace: 5.. květen 2017.] <http://www.dibavod.cz/70/prohlizecka-zaplavovych-uzemi.html>.
7. **Kolář, V.; Patočka, C.; Bém, J.** *Hydraulika*. Praha : SNTL - nakladatelství technické literatury, 1983.
8. **B. Boor; J. Kunštátský; C. Patočka.** *Hydraulika pro vodohospodářské stavby*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968.
9. **Štoll, Č., Kratochvil, S. a Holata, M.** *Vužití vodní energie*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1977.
10. **Prof. Ing. Jan Melichar, CSc.** *Hydraulické a pneumatické stroje, Část vodní turbíny*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2013.
12. **Vltavy, Povodí.** Stavby a průtoky na vodních tocích. *Povodí Vltavy*. [Online] 30.. duben 2017. www.plv.cz/portal/SaP/cz/pc/Mereni.aspx?id=VYMO&oid=1.
13. **Ing. Oldřich Neumayer, CSc.; Hladík, Ing. Jaroslav.** MVE Vydra 2. *Průvodní zpráva*. Brno : Pořry, 2007.
14. **Jürgen Giesecke; Emil Mosonyi.** *Wasserkraftanlagen*. Berlin : Springer, 2005.
15. **European Small Hydropower Association.** Guide on how to develop a small hydropower plant. Brusel : ESHA, 2004

11. Seznam obrázků

Obrázek 1 Mapa s vyznačením zájmové oblasti	3
Obrázek 2 Katastrální mapa MVE Vydra	4
Obrázek 3 Vodohospodářská mapa s vyznačením objektů souvisejících s MVE Vydra .	5
Obrázek 4 Schema umístění MVE Vydra 2	7
Obrázek 5 Časový průběh výkonu MVE Vydra za roky 2013 až 2016	8
Obrázek 6 Čára překročení výkonu za roky 2013 až 2016	9
Obrázek 7 Průběh výkonu ve standardním dni každého roku	10
Obrázek 8 Legenda ke grafům průběhu výkonu MVE Vydra v čase za roky 2013, 2014, 2015 a 2016	10
Obrázek 9 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2013	11
Obrázek 10 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2014	11
Obrázek 11 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2015	12
Obrázek 12 Průběh výkonu MVE Vydra v čase pro rok 2016	12
Obrázek 13 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon za celé období	14
Obrázek 14 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon v dubnu 2016	15
Obrázek 15 Časový průběh výkonu na TG1, TG2 a celkový výkon v lednu 2017	16
Obrázek 16 Histogram výkonu TG_{celk}	17
Obrázek 17 Graf závislosti výkonu na průtoku	18
Obrázek 18 Histogram průtoku Q_{celk}	19
Obrázek 19 Čára překročení průtoků	20
Obrázek 20 Čára překročení průměrných denních průtoků	22
Obrázek 21 Čára opakování N-letých průtoků - porovnání dat ČHMÚ a Pöyry Environment a.s.	22
Obrázek 22 Aktivní zóna záplavového území při Q_{100} (6)	23
Obrázek 23 Archimédův šroub v turbínovém režimu (zdroj Kovosit MAS)	25
Obrázek 24 Model zvoleného soustrojí	27
Obrázek 25 Model oběžného kola prototypu zvoleného soustrojí	28
Obrázek 26 Model oběžného kola prototypu s generátorem	28
Obrázek 27 Klapka s ovládacím mechanismem - pohled z horní vody	29
Obrázek 28 Klapka - pohled z dolní vody	30
Obrázek 29 Konzumpční křivka paprsku přepadajícího přes klapku v odpadním kanále MVE Vydra	31
Obrázek 30 Pohled na koryto Vydry od výtoku z MVE Vydra po proudu	32
Obrázek 31 Konzumpční křivka na výtoku z MVE Vydra 2	33
Obrázek 32 Detail konzumpční křivky pro nižší průtoky s hodnotou do $2 \text{ m}^3/\text{s}$	34
Obrázek 33 Roční výroba v závislosti na návrhovém průtoku	35
Obrázek 34 Integrace čáry překročení průtoku	36
Obrázek 35 Čára překročení průtoku po úpravě provozu MVE Vydra	37
Obrázek 36 Grafické znázornění provedení úpravy provozu	38
Obrázek 37 Integrace čáry překročení průtoku po úpravě provozu	39
Obrázek 38 Roční výroba v závislosti na návrhovém průtoku pro nezměněný a změněný provoz	40
Obrázek 39 Porovnání účinnosti turbíny před a po opravě v závislosti na průtoku (2) .	41
Obrázek 40 Graf závislosti objemu nádrže na průtoku Vchynicko-Tetovským kanálem	46

12. Seznam tabulek

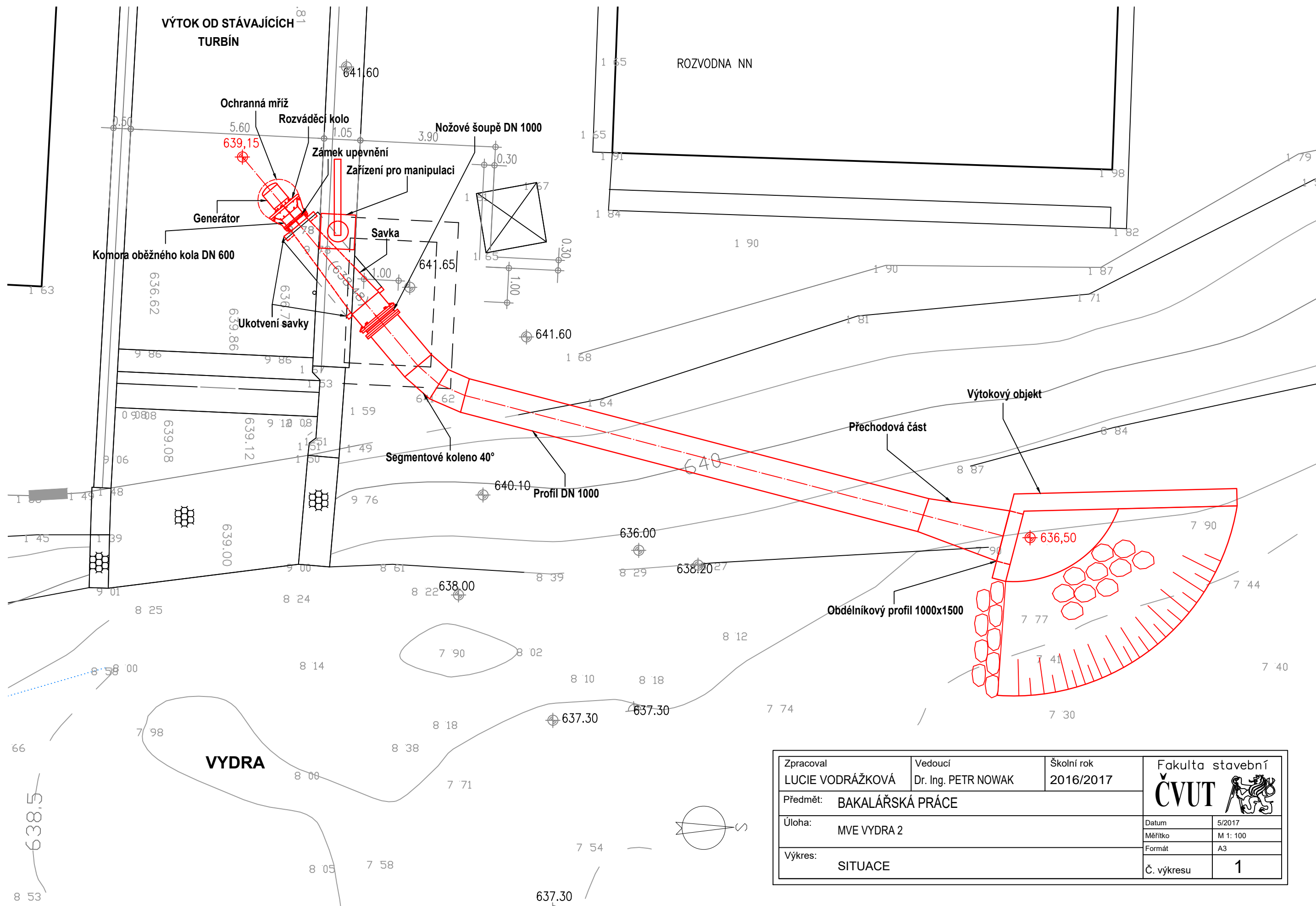
Tabulka 1 N-leté průtoky a Q_{355} od ČHMÚ [m^3/s] (4).....	21
Tabulka 2 Řada m-denních a N-letých průtoků pro profil Modrava od společnosti Pöyry environment a.s. (5)	21
Tabulka 3 Zaručené průtoky korytem řeky Vydry pod odběrným objektem - jez Rechle (5).....	23
Tabulka 4 m-denní a N-leté průtoky MVE Vydra	24
Tabulka 5 Závislost roční výroby energie na návrhovém průtoku a hodnotě hrubého spádu bez úpravy provozu stávající elektrárny	42
Tabulka 6 Závislost roční výroby energie na návrhovém průtoku a hodnotě hrubého spádu při úpravě provozu stávající elektrárny	43
Tabulka 7 Parametry TG MVE Vydra 2 pro vodné a suché období.....	49
Tabulka 8 Teoretický roční zisk MVE Vydra 2 při změně provozu stávající elektrárny.....	50
Tabulka 9 Předpokládané investice do MVE Vydra 2 v Kč.....	51


13. Seznam podkladů

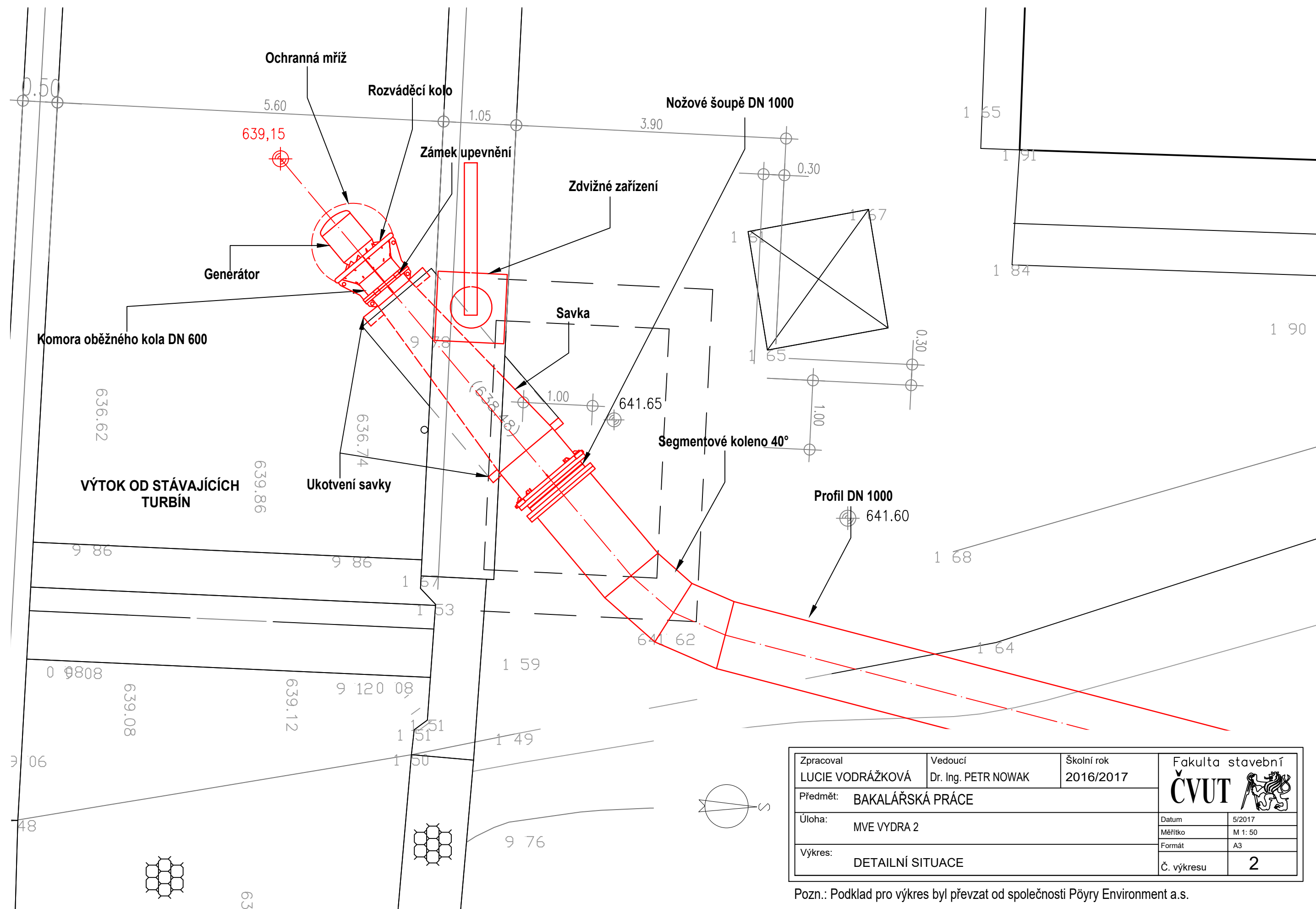
1. Data z fakturačních elektroměrů MVE Vydra
2. Data z monitorovacího systému MVE Vydra
3. Technická zpráva geodetů z roku 2011
4. Technická zpráva z garančního měření po výměně oběžného kola TG 2
5. N-leté průtoky a Q_{355} od ČHMÚ
6. Projektová dokumentace k návrhu MVE Vydra 2 společnosti Pöyry Environment a.s.
7. Výkresy k projektové dokumentaci společnosti Pöyry Environment a.s.

14. Seznam příloh

1. Výkres č.1: Situace
2. Výkres č.2: Detailní situace
3. Výkres č.3: Podélný řez

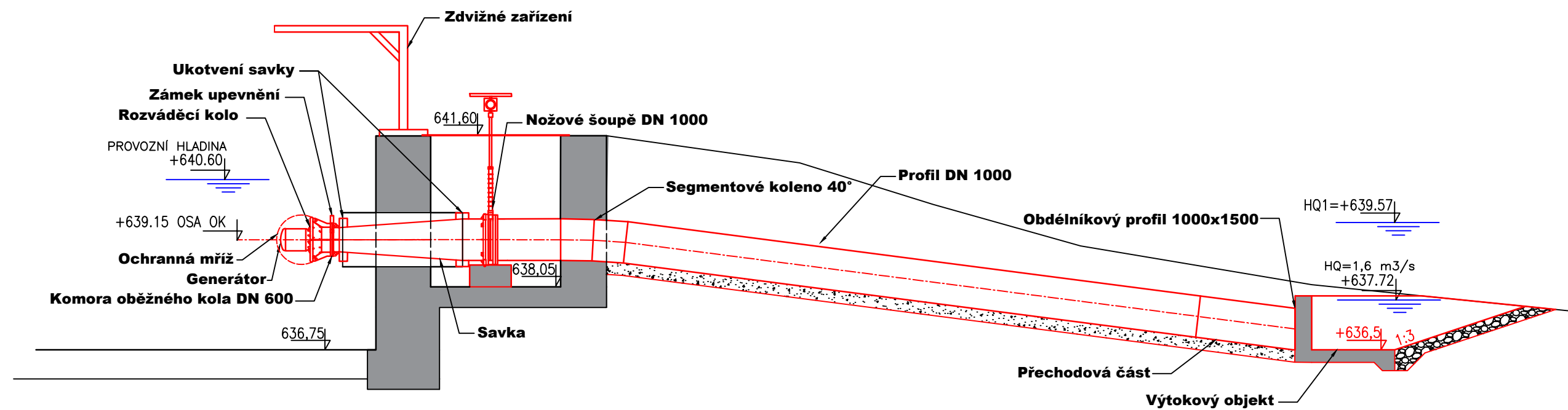



Zpracoval LUCIE VODRÁŽKOVÁ	Vedoucí Dr. Ing. PETR NOWAK	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT 	
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			Datum	5/2017
Úloha: MVE VYDRA 2			Měřítko	M 1: 100
Výkres: SITUACE			Formát	A3
			Č. výkresu	1



Zpracoval LUCIE VODRÁŽKOVÁ	Vedoucí Dr. Ing. PETR NOWAK	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT	
Předmět: BAKALÁŘSKÁ PRÁCE			Datum	5/2017
Úloha: MVE VYDRA 2			Měřítko	M 1: 50
Výkres: DETAILNÍ SITUACE			Formát	A3
			Č. výkresu	2

Pozn.: Podklad pro výkres byl převzat od společnosti Pöyry Environment a.s.



Zpracoval LUCIE VODRÁŽKOVÁ	Vedoucí Dr. Ing. PETR NOWAK	Školní rok 2016/2017	Fakulta stavební ČVUT 	
BAKALÁŘSKÁ PRÁCE				
Název MVE VYDRA 2			Datum	5/2017
			Měřítko	M 1: 100
			Formát	A3
Výkres PODÉLNÝ ŘEZ			Č. výkresu	3